

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **6**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年6月 第17卷 第6期(总第194期)

目次

综述

人脸图像的年龄估计技术研究 王先梅, 梁玲燕, 王志良, 胡四泉(603)

图像统计模型参数估计中的期望最大值算法 李旭超(619)

图像处理和编码

鲁棒的梯度驱动图像修复算法 叶学义, 王靖, 赵知劲, 陈华华(630)

快速去块效应的线性规划方法 金剑秋, 刘春晓, 王勋, 章志勇(636)

DWT-SVD 域全盲自嵌入鲁棒量化水印算法 叶天语(644)

Mean-shift 滤波和直方图增强的图像弱边缘提取 冀峰, 高新波, 谢松云(651)

图像分析和识别

梯度点对约束的结构化车道检测 王永忠, 王晓云, 文成林(657)

多水平外区抑制的轮廓检测 闫超, 张建州(664)

基于局部投影与块 LBP 特征的图像检索 邹彬, 潘志斌, 胡森(671)

图像理解和计算机视觉

视觉陌生度驱动的增量自主式视觉学习算法 瞿心昱, 姚明海, 顾勤龙(678)

霍夫空间中多足球机器人协作目标定位算法 许家铭, 解仑, 王志良, 倪善超(687)

计算机图形学

虚拟 CCD 线阵星载光学传感器内视场拼接 张过, 刘斌, 江万寿(696)

“第八届数字电视与无线多媒体通信国际论坛”会议专栏

追踪盗版者的抗共谋数字指纹 李晓强, 张煌, 赵洋洋, 汪晶晶(702)

LBP 与鉴别模式结合的热红外人脸识别 谢志华, 伍世虔, 方志军(707)

电影中复杂事件的检索与识别 杜吉祥, 郭一兰, 翟传敏(712)

方向特征和网格特征融合的离线签名鉴别 杨丹凤, 吕岳(717)

视觉关注度的立体图像质量评价 张艳, 安平, 张秋闻, 张兆杨(722)

低开销的异构数据交换 赵凯, 赵正德(726)

灵活的多视点视频编码预测结构 张艳, 蔡灿辉(730)

跨层反馈在无线视频自适应编码中的应用 王垚中, 郑世宝, 张重阳, 刘勃(736)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 6 期

2012 年 6 月 16 日出版

主管单位 中国科学院
主 办 中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所
主 编 李小文
编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会
北京 9718 信箱 邮编 100101
电子信箱:jig@irsa. ac. cn
电话:010-64807995 010-82614429
网 址:www. cjjg. cn
印刷装订 北京北林印刷厂
广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号
总 发 行 北京报刊发行局
订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
(中国国际书店)
(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences
Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics
Chief editor LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail:jig@irsa. ac. cn
Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers
and Journals
Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading Corporation
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)
Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 6 June 2012

Contents

Review

- Age estimation by facial image: a survey Wang Xianmei, Liang Lingyan, Wang Zhiliang, Hu Siqian(603)
Expectation maximization method for parameter estimation of image statistical model Li Xuchao(619)

Image Processing and Coding

- Robust gradient driving image inpainting method Ye Xueyi, Wang Jing, Zhao Zhijing, Chen Huahua(630)
Fast image de-blocking by linear programming Jin Jianqiu, Liu Chunxiao, Wang Xun, Zhang Zhiyong(636)
Perfectly blind self-embedding robust quantization-based watermarking scheme in DWT-SVD domain Ye Tianyu(644)
Weak edge detection using Mean-shift filtering and histogram enhancement Ji Feng, Gao Xinbo, Xie Songyun(651)

Image Analysis and Recognition

- Gradient-pair constraint for structure lane detection Wang Yongzhong, Wang Xiaoyun, Wen Chenglin(657)
Contour detection based on multilevel inhibition Yan Chao, Zhang Jianzhou(664)
Image retrieval method based on local projection and block LBP feature Zou Bin, Pan Zhibin, Hu Sen(671)

Image Understanding and Computer Vision

- Visual novelty driven incremental and autonomous visual learning algorithm Qu Xinyu, Yao Minghai, Gu Qinlong(678)
Target localization algorithm for cooperative multi-soccer robots based on Hough space
..... Xu Jiaming, Xie Lun, Wang Zhiliang, Ni Shanchao(687)

Computer Graphics

- Inner FOV stitching algorithm of spaceborne optical sensor based on the virtual CCD line
..... Zhang Guo, Liu Bin, Jiang Wangshou(696)

Special Issue of the IFIC' 2011

- Anti-collusion fingerprinting scheme capable of tracing pirate Li Xiaoqiang, Zhang Huang, Zhao Yangyang, Wang Jingjing(702)
Infrared face recognition using LBP and discrimination patterns Xie Zhihua, Wu Shiqian, Fang Zhijun(707)
Recognize and retrieval complex events in real movies Du Jixiang, Guo Yilan, Zhai Chuanmin(712)
Off-line signature verification based on combination of direction feature and grid feature Yang Danfeng, Lv Yue(717)
Stereo image quality assessment based on visual attention Zhang Yan, An Ping, Zhang Qiuwen, Zhang Zhaoyang(722)
Low overhead of heterogeneous data exchange Zhao Kai, Zhao Zhengde(726)
Flexible prediction structure for multi-view video coding Zhang Yan, Cai Canhui(730)
Cross-layer feedback based adaptive coding for wireless video transmission
..... Wang Yaozhong, Zheng Shibao, Zhang Chongyang, Liu Bo(736)

中图法分类号: TP301.6 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)06-0651-06

论文引用格式: 冀峰, 高新波, 谢松云. Mean-shift 滤波和直方图增强的图像弱边缘提取[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(6): 651-656.

Mean-shift 滤波和直方图增强的图像弱边缘提取

冀峰¹, 高新波¹, 谢松云²

1. 西安电子科技大学工程学院, 西安 710071; 2. 西北工业大学电子信息学院, 西安 710129

摘要: 准确定位大脑中的功能区域需要我们对 fMRI 图像中头骨等生物组织精确提取, 但由于核磁共振仪等现有条件的限制, 头骨等弱边缘信息难于提取。针对这一问题, 提出一种弱边缘提取的有效方法。首先利用 Mean-shift 聚类特性, 在不损失目标信息的情况下, 削弱图像中的噪声干扰; 根据滤波后像素灰度的区域分布特性, 对头骨区域进行直方图增强, 最后应用边缘检测算法将头骨边缘提取出来。实验的结果表明, 该方法可以有效地将 fMRI 图像中的头骨弱边缘信息提取出来。

关键词: 弱边缘提取; 均值位移算法; 直方图增强; 功能核磁共振图像

Weak edge detection using Mean-shift filtering and histogram enhancement

Ji Feng¹, Gao Xinbo¹, Xie Songyun²

1. School of Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China;

2. School of Electronics and Information, Northwestern polytechnical University, Xi'an 710129, China

Abstract: In order to orientate the function area in brain, an accurate skull extraction method is needed in fMRI image processing. But, we often miss the weak edge information in the skull fMRI image because of the existing imitations of MRI and conditions. For this problem, an efficient weak edge extraction method is proposed in this paper. On the premise of none of the target information losing, we first use mean-shift clustering algorithm to weaken the noise of the image. Then, based on the distribution features of the filtered images, a histogram enhancement method is used to enhance the skull area. At last, use canny edge detection algorithm to detect the edge of the skull in fMRI image. The experiment results represent that the method can extract the weak edge of the skull in fMRI images efficiently.

Key words: weak edge detection; Mean-shift; histogram enhancement; fMRI image

0 引言

在神经生物学领域中, 如何准确定位大脑的每一片功能区域是脑部建模、脑功能研究的基础, 也一直是研究的热点与难点。而要准确定位大脑中的功能区域则需要对 fMRI 图像(功能核磁共振图像)中头骨等生物组织精确提取, 但由于硬件水平的限制,

头骨等弱边缘信息难于提取。要在 fMRI 图像中快速准确地提取出头骨信息, 首先需要解决的问题就是如何将淹没在噪声中的头骨弱边缘从背景中分割出来。由于 fMRI 图像着重记录了大脑功能信息, 外围的头骨信息表现微弱, 另外, 扫描时可能存在一些比较大的噪声, 会淹没微弱的头骨信息, 这些都增大了边缘提取的难度, 影响了检测的准确性。因此, 有效的弱边缘检测方案对于解决上

收稿日期: 2011-05-23; 修回日期: 2011-09-07

第一作者简介: 冀峰(1973—), 男, 现为西安电子科技大学博士研究生, 研究领域为多媒体信息安全与图像处理。E-mail: djif@189.cn

述问题起着举足轻重的作用。传统的边缘检测技术主要局限于梯度运算、表面拟合、图像形态学等方法^[1-3],这些方法往往存在边缘检测精度低、对阈值设置敏感等缺点。图1中显示了fMRI

图像经 Sobel 与 Canny 算子边缘检测的结果(阈值方法均采用 OTSU 法^[4](大津法)),其中 Sobel 算子敏感度低没有检测出头骨边缘,而 Canny 算子过于敏感将边缘的噪声信息认定为边缘。



图1 传统边缘检测算法对 fMRI 图像的检测结果

Fig. 1 fMRI edge detection using traditional methods

为提高图像弱边缘检测的可靠性,本文提出了基于 Mean-shift(均值位移)滤波和图像直方图增强的分割方法。Mean-shift 计算模型^[5]是一种有效的统计迭代算法,能够实现图像的自适应滤波,并且利用其统计迭代的聚类特性,能够有效抑制图像噪声,同时不损失目标信息。而直方图增强是根据图像的灰度分布具有明显的区域性,利用直方图信息,对头骨区域进行图像增强。论文首先用 Mean-shift 滤波算法对图像进行滤波处理,抑制噪声干扰,对处理后的图像进行直方图转换增强头骨部分的信息,从而能够有效、准确地提取出头骨的弱边缘。

1 Mean-shift 图像滤波原理

1.1 Mean-shift 算法简介

Mean-shift 是一种非参数密度梯度估计过程,最早由 Fukunaga 和 Hosteler 提出^[6],而后由 Cheng 以及 Meer 等进一步发展,目前已经成为特征空间分析的有效工具。Mean-shift 算法的应用领域非常广泛,其在样本聚类、模态检测以及估计最优化等问题上有较好的应用。图像处理领域目前主要在图像平滑^[7]、图像分割^[8-9]、移动目标跟踪^[5,10]领域都有成功的应用。

Mean-shift 的基本原理^[11-14]表述为:给定 d 维空间 \mathbf{R}^d 中的 n 个样本点 $\mathbf{x}_i, i = 1, \dots, n$, 在 \mathbf{x} 点的 Mean-shift 向量的基本形式定义为

$$\mathbf{M}_h(\mathbf{x}) = \frac{1}{k} \sum_{\mathbf{x}_i \in \mathcal{S}_h} (\mathbf{x}_i - \mathbf{x}) \quad (1)$$

式中, k 表示落在高维球区域内的样本点的个数, \mathcal{S}_h 是一个半径为 h 的高维球区域, 满足式(2)关系的 \mathbf{y} 点的集合。

$$\mathcal{S}_h(\mathbf{x}) \equiv \{\mathbf{y} : (\mathbf{y} - \mathbf{x})^T (\mathbf{y} - \mathbf{x}) \leq h^2\} \quad (2)$$

在式(1)中 $(\mathbf{x}_i - \mathbf{x})$ 可理解为样本点 \mathbf{x}_i 相对于点 \mathbf{x} 的偏移向量, 式(1)中 $\mathbf{M}_h(\mathbf{x})$ 是对落入区域 \mathcal{S}_h 中的 k 个样本点相对于点 \mathbf{x} 的偏移向量求和然后再平均, 如果样本 \mathbf{x}_i 服从概率密度函数 $f(\mathbf{x})$, 从平均上来说, \mathcal{S}_h 区域内的样本点更多地落在沿着概率密度梯度的方向。因此, 对应地, Mean-shift 向量 $\mathbf{M}_h(\mathbf{x})$ 应该指向概率密度梯度的方向。

一般说来, 距 \mathbf{x} 远近不同的采样点对于最终的 $\mathbf{M}_h(\mathbf{x})$ 计算的贡献是不同的, 离 \mathbf{x} 越近的采样点对估计 \mathbf{x} 周围的统计特性越有效, 因此我们引入加权平均的概念^[15], 在计算 $\mathbf{M}_h(\mathbf{x})$ 时可以考虑距离的影响, 所有的样本点 \mathbf{x}_i 中根据离 \mathbf{x} 的远近设置不同的权重。如此, 把基本的 Mean-shift 形式扩展为

$$\mathbf{M}(\mathbf{x}) \equiv \frac{\sum_{i=1}^n G_H(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}) w(\mathbf{x}_i) (\mathbf{x}_i - \mathbf{x})}{\sum_{i=1}^n G_H(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}) w(\mathbf{x}_i)} \quad (3)$$

式中,

$$G_H(\mathbf{x}_i - \mathbf{x}) = |\mathbf{H}|^{-1/2} G(\mathbf{H}^{-1/2} (\mathbf{x}_i - \mathbf{x})), \quad G(\mathbf{x})$$

是一个单位核函数, \mathbf{H} 是一个正定的对称 $d \times d$ 矩阵。我们一般称之为带宽矩阵。 $w(\mathbf{x}_i) \geq 0$ 是一个赋给采样点 \mathbf{x}_i 的权重。

在实际应用的过程中,带宽矩阵 \mathbf{H} 一般被限定为一个对角矩阵 $\mathbf{H} = \text{diag}[h_1^2, \dots, h_d^2]$, 甚至更简单地被取为成正比于单位矩阵, 即 $\mathbf{H} = h^2 \mathbf{I}$ 。本文也采用这种形式, 因此式(3)又可以被写为

$$M_h(\mathbf{x}) \equiv \frac{\sum_{i=1}^n G\left(\frac{\mathbf{x}_i - \mathbf{x}}{h}\right) w(\mathbf{x}_i) (\mathbf{x}_i - \mathbf{x})}{\sum_{i=1}^n G\left(\frac{\mathbf{x}_i - \mathbf{x}}{h}\right) w(\mathbf{x}_i)} \quad (4)$$

1.2 Mean-shift 图像滤波

一幅图像可以表示成一个 2 维网格点上 p 维向量(即每一个 2 维网格点作为一个像素点, 当 $p=1$, 表示这是一个灰度图; 当 $p=3$ 表示为 HSV 或 RGB 彩色图; $p > 3$ 表示一个多谱图, 网格点的坐标表示图像的空间信息)。论文中的 fMRI 图像是灰度图, 取 $p=1$ 。统一考虑图像的空间信息和灰度信息, 组成一个 3 维的向量 $\mathbf{x} = (\mathbf{x}^s, \mathbf{x}^r)$, 其中 \mathbf{x}^s 表示网格点的坐标, \mathbf{x}^r 表示该网格点上灰度特征。

在图像处理中采用的核函数为

$$K_{h_s, h_r} = \frac{C}{h_s^2 h_r} k\left(\left\|\frac{\mathbf{x}^s}{h_s}\right\|^2\right) k\left(\left\|\frac{\mathbf{x}^r}{h_r}\right\|^2\right) \quad (5)$$

用核函数 K_{h_s, h_r} 来估计 x 的分布, 其中 h_s, h_r 控制着平滑的解析度, C 是一个归一化常数。

针对于一个采样点 $\mathbf{x} = (\mathbf{x}_x, \mathbf{y}_x, \text{gray}_x)$ 的平滑处理, 可以理解为: 按照 Mean-shift 向量沿着 x 的概率密度梯度方向进行搜索, 最终收敛到一点 $\mathbf{y} = (\mathbf{x}_y, \mathbf{y}_y, \text{gray}_y)$ 并将 gray_x 替换为 gray_y 。分别用 \mathbf{x}_i 和 $\mathbf{z}_i, i=1, \dots, n$ 表示原始和平滑后的图像。对每一个像素点, Mean-shift 算法图像平滑的具体步骤如下:

- 1) 初始化 $j=1$, 并且使 $\mathbf{y}_{i,j} = \mathbf{x}_i$;
- 2) 运用 Mean-shift 算法计算 $\mathbf{y}_{i,j+1}$, 直到收敛。记收敛后的值为 $\mathbf{y}_{i,c}$;
- 3) 赋值 $\mathbf{z}_i = (\mathbf{x}_i^s, \mathbf{y}_{i,c}^r)$ 。

图 2 给出了 Mean-shift 算法在图像滤波处理中的过程示意图(其中, x, y 坐标轴代表的是图像坐标位置, z 轴代表坐标点上值的大小)。

图 2 所示 Mean-shift 收敛示意与大多数聚类算法一致, 不同点在于其是样本会沿着概率密度梯度方向从概率密度小的地方向概率密度大的方向移动, 其均值位移向量的模值会随着迭代的进行逐步变小, 最终使样本收敛于某一个稳定点上, 从而达到滤波的效果。

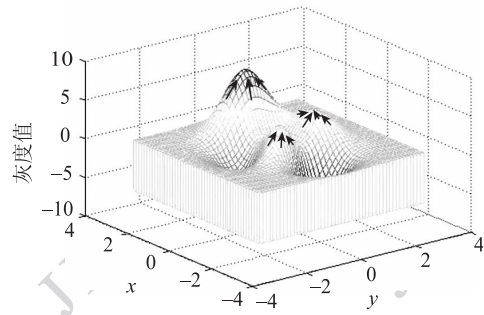


图 2 Mean-shift 算法收敛示意图
Fig. 2 Mean-shift algorithm description

2 直方图增强

经过 Mean-shift 平滑处理的图像可以理解为, 图像的每一个像素都被归类到了相应范围内的概率梯度的极值点。因此经 Mean-shift 平滑处理后的图像特点就是在局部范围内灰度值处在邻近的范围内。对处在直方图指定范围内的像素进行增亮, 就可以达到对指定范围内的图像增强^[16]。

图 3 显示了头部 fMRI 图像灰度值分布的信息, 图 3(a) 为根据图像灰度值显示的 3 维图像(其中, x, y 轴构成图像坐标网格, z 轴为其灰度值的大小), 图 3(b) 为图 3(a) 中显示的 fMRI 图像的纵向投影。从图 3(b) 可见图像按照灰度呈阶梯状的区域分布, 内部的脑区域灰度值最高, 外部的噪声区域灰度值最低, 中间区域为要提取的头骨部分。根据图像的灰度分布特性, 可以运用直方图变换对图像头骨区域进行增强。

由图 3(a) 可知, 头骨部分灰度值在 $[25, 45]$ 之间, 而其余部分则为大脑和其他噪声部分, 因此可以对此区间内的灰度值进行增强, 引入灰度的增强函数

$$g = \begin{cases} -0.02x^2 + 1.4x - 21.5 & x \in (25, 45) \\ 1 & x \notin (25, 45) \end{cases} \quad (6)$$

式(6) 是头骨部分灰度增强函数, 其在 $[25, 45]$ 之间的极大值在点 $(35, 3)$ 处, 也就是说, 将像素灰度值在此区域的点统一扩大了 3 倍, 而其余的像素点则保持不变, 从而达到了头骨增强的目的。式(6) 中经灰度增强函数变换后的结果如图 4(a) 所示。图 4(b) 中显示了经过增强的头骨图像(其中, x, y 轴构成图像坐标网格, z 轴为其灰度值的大小)。经过灰度增强后的图像, 头骨部分的信息更加明显。

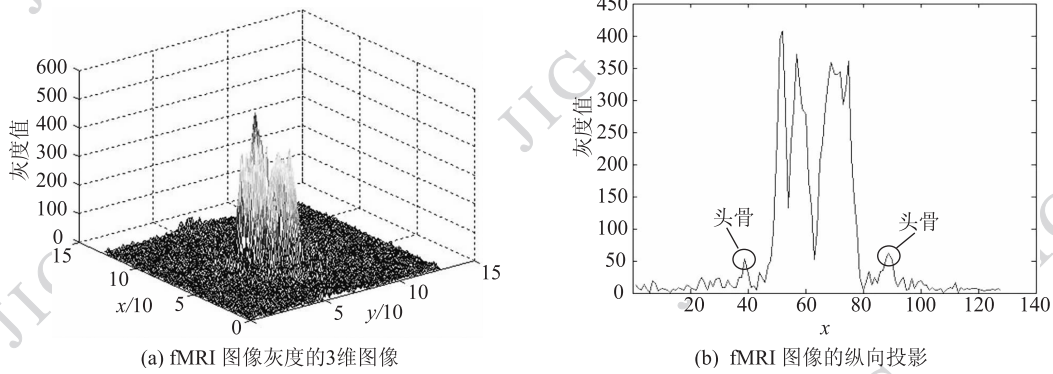


图 3 fMRI 图像的灰度分布信息
Fig. 3 fMRI gray-scale distribution

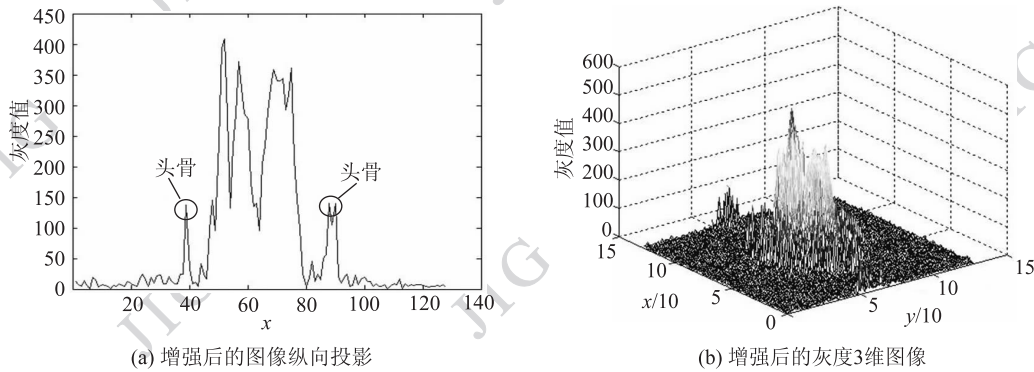


图 4 增强后的 fMRI 图像的灰度分布信息
Fig. 4 Enhanced fMRI gray-scale distribution

3 基于 Mean-shift 滤波和直方图增强的图像弱边缘提取算法

3.1 实验数据说明

实验采用的 fMRI 图像由第四军医大学提供,共扫描 12 层 600 幅图像,图像大小为 128×128 ,其中一幅图像如图 1(a) 所示,图像的投影信息和灰度值 3 维图显示在图 3 中。从图 3 中可以观察到待提取的头骨信息和外围的噪声信息幅值很接近。

3.2 fMRI 图像头骨弱边缘提取步骤

头骨弱边缘提取的流程如图 5 所示,由实验条件可知,对头骨扫描的每一层图片各有 50 幅,对这 50 幅同样位置的图片进行处理。由于头骨信息和外围的噪声信息幅值接近,首先,应用 Mean-shift 算法对图像进行滤波处理,经过灰度信息聚类,头骨弱边缘和外围的噪声信息可以被分离开,但是弱边缘的幅值被进一步削弱,不利于后续的检测提取,因此,第 2 步要针对被削弱的弱边缘信息,进行直方图增强。最后,为了增加弱边缘的准确度和可信度,设

立了累加模块,对多张处理过的图片相应的弱边缘区域进行投票,若同一区域内出现弱边缘的比率大于 80% 则认定这一位置为待提取的边缘信息,并予以保留,否则被认定为噪声干扰被去除(说明:fMRI 图像的提取过程是将人脑固定在核磁共振仪中,然后由核磁共振仪进行类切割式的逐层扫描,因此其在图像位置上不会出现变动,不需要进行配准)。

4 实验结果及分析

按照图 5 所示的流程,对一层共 50 幅扫描图像进行处理,处理的结果显示在图 6 中,图 6(a)是经过 Mean-shift 处理后的图像灰度 3 维图像(其中, x, y 轴构成图像坐标网格, z 轴为其灰度值的大小),对应的投影图 6(b),从图中可以看出,外围的噪声得到了很大程度的削弱,使得头骨信息显现得更加明显,但是头骨信息的幅值仍然很低。为了在后续的边缘检测算法中能够提取出头骨信息,需要对头骨信息进行增强,按照式(6)对 Mean-shift 滤波后的图像进行直方图增强,结果显示在图 6(c)(d)中,图中显示,脑外侧

的头骨信息得到了大幅度的增强。最终图像的结果如图6(e)所示。对图像进行边缘检测结果如图6(f)。对于那些灰度值较大的像素点(属于脑组织区

域的像素点)进行了阈值去除(文中阈值为120)。图6(g)为经过累加模块处理的最终边缘结果。结果中可以看出,头骨的边缘信息,被较好地提取出来。

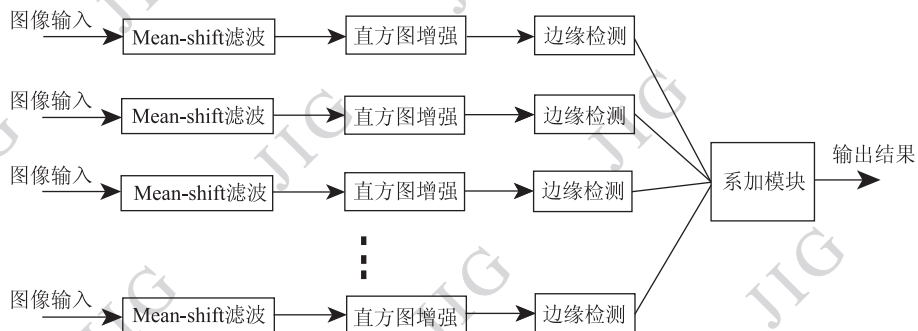
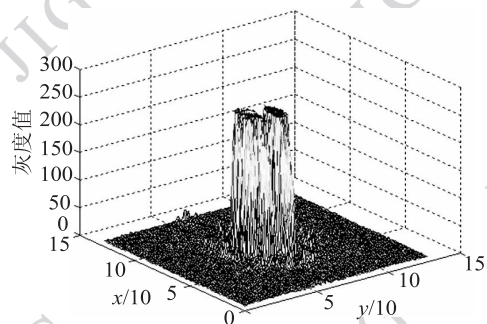
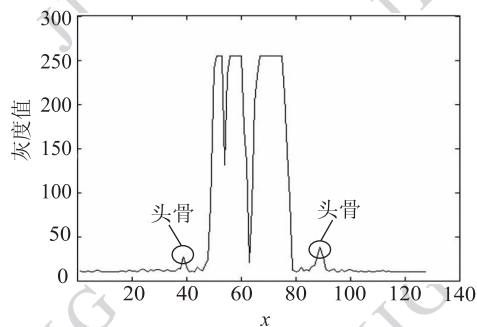


图5 对单层边缘提取流程图

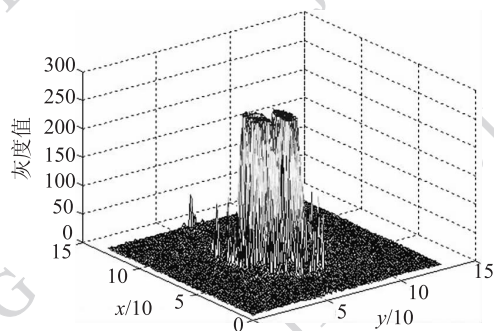
Fig. 5 The flow chart of edge detection per one slice



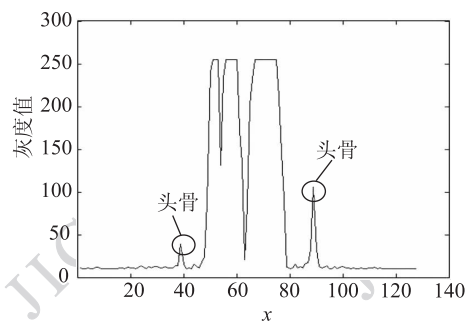
(a) Mean-shift滤波后的图像灰度3维信息



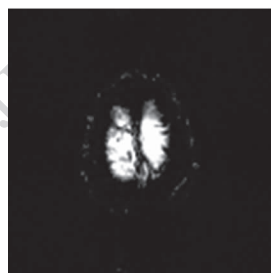
(b) Mean-shift 滤波后图像的投影信息



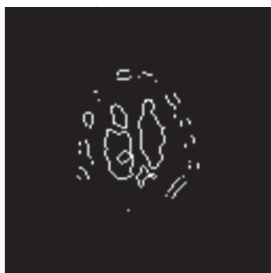
(c) 直方图增强后的图像灰度3维信息



(d) 直方图增强后的图像投影信息



(e) 边缘增强后的图像



(f) 单幅图像边缘检测结果



(g) 经累加后的结果

图6 实验结果

Fig. 6 Experiment results

5 结论

论文在分析 Mean-shift 滤波模型和灰度直方图增强方法的基础上,提出了一种融合上述两种方法的图像弱边缘提取算法。对此图 1(b)(c)和图 6(f)(g)中对边缘检测的结果分析,论文提出的算法能够更有效、准确地提取出图像中的微弱边缘,实验结果证明了算法的有效性。

从边缘提取的结果分析,图像的边缘还没有形成连同区域,这主要是由于图像自身质量不高,使得部分边缘淹没在较强噪声下,经过 Mean-shift 滤波后被滤除的结果。因此一方面,可以探索进一步提高 Mean-shift 滤波信噪比同时又能够很好的识别边缘的方法;另一方面,也可以选择适当的方法使得提取的边缘连通起来以解决处理结果边缘不连续的问题,这些将成为今后研究的重点。

参考文献 (References)

- [1] Wang K G, Geng G H. An improved Canny edge detection based on adaptive smoothing and enhancement [J]. Journal of Xi'an University of Science and Technology, 2008, 28(3): 577-580. [王克刚,耿国华. Canny 边缘检测改进中的自适应平滑与增强 [J]. 西安科技大学学报, 2008, 28(3): 577-580.]
- [2] Wu L S, Quan L. Study on detecting large-scale weak edge [J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2009, 40(3): 291-294. [武利生,权龙. 大尺度弱边缘检测方法的研究 [J]. 太原理工大学学报, 2009, 40(3): 291-294.]
- [3] Zhao T Y, Guo L, Chen L. Edge detection method based on four-phase-difference [J]. Microelectronics & Computer, 2008, 25(8): 72-75. [赵天云,郭雷,陈亮. 四相位差分图像边缘检测算法 [J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(8): 72-75.]
- [4] Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-level Histogram [J]. IEEE Trans SMC, 1979, 9(1): 62-66.
- [5] Dorin Comaniciu. Mean-shift: a robust approach toward feature space analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603-619.
- [6] Fukunage, K. and L. D. Hostetler, The estimation of the gradient of a density function with application in pattern recognition [J]. IEEE Trans. on Information Theory, 1975, 21(1): 32-40.
- [7] He H P, Zhao M, Sun D H. Mean-shift based edge detection in image [J]. Journal of Chongqing University of Technology: Natural Science, 2009, 23(3): 122-125. [何恒攀,赵敏,孙隼华. 基于 Mean-shift 算法的图像边缘检测 [J]. 重庆工学院学报:自然科学, 2009, 23(3): 122-125.]
- [8] Wang X C, Fu D M, Li X G, et al. Complex infrared objects segmentation based on Mean-shift filtering and ant colony clustering [J]. Infrared Technology, 2009, 31(9): 545-548. [王潇晨,付冬梅,李晓刚,等. 基于 Mean-shift 滤波和蚁群聚类的复杂红外目标分割 [J]. 红外技术, 2009, 31(9): 545-548.]
- [9] Yin Y, Wang Y, Liu D P. Improved Mean-shift method for blood cell image segmentation [J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(6): 178-184. [印勇,王云,刘丹平. 血细胞图像分割的改进 Mean-shift 方法 [J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(6): 178-184.]
- [10] Changjiang Yang, Ramani Duraiswami, Larry Davis. Efficient Mean-Shift Tracking via a New Similarity Measure [C] // Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, CA, USA: IEEE Computer Society, 2005, 1: 176-183.
- [11] Comaniciu, D. and P. Meer. Mean Shift analysis and application [C] // Proceedings of the Senventh IEEE International Conference on Computer Vision, IEEE Computer Society, 1999, 2: 1197-1203.
- [12] Song X, Luo J, Wang L P. Edge detection method based on mean shift clustering method [J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2007, 27(1): 366-368. [宋新,罗军,王鲁平. 基于 Mean Shift 聚类的边缘检测方法 [J]. 火箭与制导学报, 2007, 27(1): 366-368.]
- [13] Han C X, Wang X Y. Image smoothing based on mean-shift algorithm and fuzzy entropy [J]. Journal of Computer Applications, 2009, 29(1): 64-67. [韩彩夏,王晓宇. 基于 Mean-shift 算法与模糊熵的图像平滑 [J]. 计算机应用, 2009, 29(1): 64-67.]
- [14] Wang X H, Bi D Y. An application study of mean shift algorithm in image segmentation [J]. Control and Automation Publication Group: Control and Automation, 2009, 25(3-3): 290-292. [王新华,毕笃彦. Mean-shift 算法在图像分割中的应用研究 [J]. 微计算机信息: 管控一体化, 2009, 25(3-3): 290-292.]
- [15] Collins R T. Mean-shift blob tracking through scale space [C] // Proceedings of the 2003 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2003, 2: II - 234-40.
- [16] Wang B, Pan Q. Soft threshold histogram weighted filtering with correlativity for high density salt pepper noise images [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(7): 1347-1351. [王博,潘泉. 基于相关度量的高椒盐噪声软阈值直方图滤波算法 [J]. 电子学报, 2007, 35(7): 1347-1351.]