



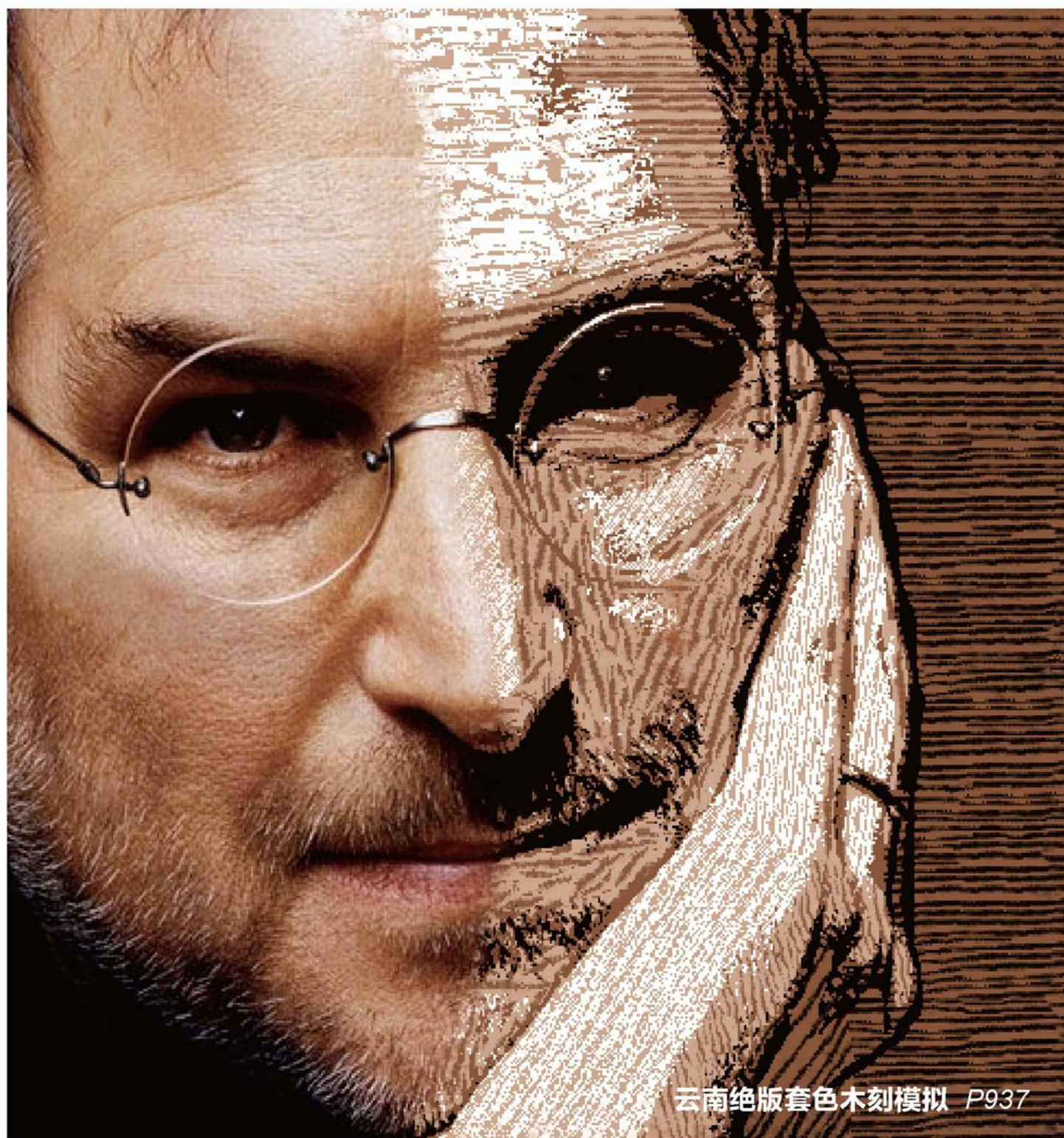
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2015
07
VOL.20

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



云南绝版套色木刻模拟 P937



第20卷第7期（总第230期）

2015年7月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊
中文核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

All rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所

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

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@radi.ac.cn

电 话 010-64807995

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

（邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of

Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@radi.ac.cn

Telephone 010-64807995

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation

(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China))

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

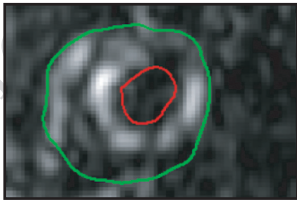
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

国内定价 50.00元



基于颈动脉粥样硬化斑块的多
序列MR图像去噪与配准
(第0871页)



光滑拟合模型的IIPBDR图像
修复算法(第0895页)



基于暗原色先验的图像快速去
雾(第0914页)



个性化定制的虚拟健身系统设
计与实现(第0953页)

图像处理和编码

融合视觉感知特性的HEVC率失真优化

费马燕, 彭宗举, 李持航, 陈芬, 郁梅, 蒋刚毅 0857

结合空间信息的模糊聚类侧扫声纳图像分割

李阳, 庞永杰, 盛明伟 0865

基于颈动脉粥样硬化斑块的多序列MR图像去噪与配准

李军伟, 汪晓妍, 张剑华, 何俊丽, 管秋, 陈胜勇 0871

小波变换与纹理合成相结合的图像修复

张东, 唐向宏, 张少鹏, 黄俊泽 0882

光滑拟合模型的IIPBDR图像修复算法

鱼江, 翟东海, 聂洪玉, 李同亮 0895

图像分析和识别

噪声方差未知条件下的视频目标跟踪

陈金广, 任冰青, 马丽丽, 温静 0906

基于暗原色先验的图像快速去雾

曾浩, 尚媛园, 丁辉, 周修庄, 付小雁 0914

人体运动分析的实例学习方法

李毅, 刘兴川, 孙亭 0922

图像理解和计算机视觉

多参数加权的无缝纹理映射算法

刘彬, 陈向宁, 薛俊诗 0929

交互式云南绝版套色木刻数字化合成

王雪松, 李杰, 侯剑侠, 徐丹, 普园媛 0937

计算机图形学

基于像素的多边形等距区域子分算法

严志刚, 寿华好 0945

个性化定制的虚拟健身系统设计与实现

赵汉理, 孟庆如, 韩丽贞, 潘志庚 0953

遥感图像处理

LANDSAT-8卫星影像长条带数据处理

李亚林, 李山山, 冯钟葵, 张洪群, 陈勃 0963

MapReduce模式下高光谱图像端元提取算法加速

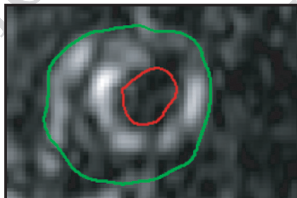
曲海成, 籍瑞庆, 刘万军, 梁雪剑 0973

基于GA-BP神经网络模型的登革热时空扩散模拟

李卫红, 陈业滨, 闻磊 0981

CONTENTS

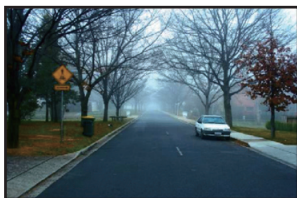
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Multiple sequence MR image de-noising and registration method based on carotid atherosclerosis plaque (P0871)



Improved IIPBDR algorithm based on smooth-fitting model (P0895)



Fast image haze removal base on dark channel prior (P0914)



Design and implementation of the personalized virtual fitness system(P0953)

Image Processing and Coding

- Human perception features based rate distortion optimization for HEVC
Fei Mayan, Peng Zongju, Li Chihang, Chen Fen, Yu Mei, Jiang Gangyi 0857
- Side-Scan sonar image segmentation via fuzzy clustering with spatial constrains
Li Yang, Pang Yongjie, Sheng Mingwei 0865
- Multiple sequence MR image de-noising and registration method based on carotid atherosclerosis plaque
Li Junwei, Wang Xiaoyan, Zhang Jianhua, He Junli, Guan Qiu, Chen Shengyong 0871
- Image inpainting based on combination of wavelet transform and texture synthesis
Zhang Dong, Tang Xianghong, Zhang Shaopeng, Huang Junze 0882
- Improved IIPBDR algorithm based on smooth-fitting model
Yu Jiang, Zhai Donghai, Nie Hongyu, Li Tongliang 0895

Image Analysis and Recognition

- Video target tracking algorithm with the noise variance unknown
Chen Jinguang, Ren Bingqing, Ma Lili, Wen Jing 0906
- Fast image haze removal base on dark channel prior
Zeng Hao, Shang Yuanyuan, Ding Hui, Zhou Xiuzhuang, Fu Xiaoyan 0914
- Example-based approach for human motion analysis from videos
Li Yi, Liu Xingchuan, Sun Ting 0922

Image Understanding and Computer Vision

- Seamless texture mapping algorithm based on multi parameter weighted
Liu Bin, Chen Xiangning, Xue Junshi 0929
- Interactive digital synthesis of Yunnan out-of-print woodcuts
Wang Xuesong, Li Jie , Hou Jianxia, Xu Dan, Pu Yuanyuan 0937

Computer Graphics

- Pixel based domain subdivision algorithm for polygon offsetting
YAN Zhigang, SHOU Huahao 0945
- Design and implementation of the personalized virtual fitness system
Zhao Hanli, Meng Qingru, Han Lizhen, Pan Zhigeng 0953

Remote Sensing Image Processing

- Study on processing method of LANDSAT-8 long strip satellite imagery
Li Yalin, Li Shanshan, Feng Zhongkui, Zhang Hongqun, Chen Bo 0963
- Acceleration of hyperspectral image endmember extraction based on MapReduce pattern
Qu Haicheng, Ji Ruiqing, Liu Wanjun, Liang Xuejian 0973
- Simulation of spatio-temporal diffusion of dengue fever based on the GA-BP neural network model
Li Weihong, Chen Yebin, Wen Lei 0981

中图法分类号: TN919.73 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2015)07-0865-06

论文引用格式: Li Yang, Pang Y J, Sheng M W. Side-scan sonar image segmentation via fuzzy clustering with spatial constrains[J]. Journal of Image and Graphics, 2015, 20(7): 0865-0870. [李阳, 庞永杰, 盛明伟. 结合空间信息的模糊聚类侧扫声纳图像分割[J]. 中国图象图形学报, 2015, 20(7): 0865-0870.] [DOI:10.11834/jig.20150702]

结合空间信息的模糊聚类侧扫声纳图像分割

李阳, 庞永杰, 盛明伟

哈尔滨工程大学水下机器人技术重点实验室, 哈尔滨 150001

摘要: 目的 针对侧扫声纳图像具有背景复杂、噪声污染重等特点, 提出一种结合空间信息的模糊聚类分割算法 (FCM), 以提高侧扫声纳图像的分割精度和分割速度。方法 采用结合组合邻域中值滤波的 FCM 算法, 首先选取正十字邻域和斜十字邻域, 分别计算两个邻域内的像素灰度中值; 然后, 结合其中的较小值, 引入惩罚项, 得到融合灰度信息和空间信息的灰度值; 最后, 对融合后的灰度图像进行 FCM 分割。结果 利用该算法对不同尺寸和不同目标的侧扫声纳图像进行分割, 并将分割结果与其他 5 种聚类算法的分割结果进行比较, 对比分析每种算法的分割精度和运算时间。结合中值滤波的 FCM 算法的分割精度和运算时间均优于传统的 FCM 算法和结合均值滤波的 FCM 算法, 其中结合组合邻域中值滤波的 FCM 算法的运算速度较快, 分割精度略高于结合传统中值滤波的 FCM 算法。结论 结合组合邻域中值滤波的 FCM 算法在对侧扫声纳图像进行分割时, 具有较强的抗噪性、实时性和较强的边缘保持能力。

关键词: 模糊聚类; 侧扫声纳; 图像分割; 组合中值滤波

Side-scan sonar image segmentation via fuzzy clustering with spatial constrains

Li Yang, Pang Yongjie, Sheng Mingwei

Science and Technology on Underwater Vehicle Laboratory, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China

Abstract: **Objective** Side-scan sonar has been widely used in several tasks, such as underwater target detection, tracking of undersea pipeline, and marine investigations. Side-scan sonar image usually contains complex background and serious noise pollution. With regard to these features, an image segmentation method via fuzzy clustering with spatial contextual information is presented to improve segmentation accuracy and operation time. **Method** In this study, we selected the combination neighborhood median filter as spatial contextual information. The basic idea of the presented method is as follows. First, we selected a cross-shaped neighborhood and an oblique cross-shaped neighborhood, and medians were calculated in the neighborhood. By introducing a penalty term, we then chose small median to obtain gray level, which integrates gray information and spatial contextual information. Finally, we applied the fuzzy C-means (FCM) clustering method on the gray image that integrated two kinds of information. **Result** To prove that the presented method has higher segmentation accuracy and shorter operation time than other fuzzy clustering methods, we compared it with other five kinds of fuzzy clustering method, which include FCM, bias-corrected FCM, FCM_ S1, FCM_ S2, and FCM combined with traditional square

收稿日期: 2014-11-06; 修回日期: 2015-03-30

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51309066); 哈尔滨工程大学重点实验室开放课题

第一作者简介: 李阳 (1988—), 男, 2015 年于哈尔滨工程大学获得流体力学专业硕士学位, 主要研究方向为水下声学图像处理。

E-mail: 253146291@qq.com

通信作者: 盛明伟, 讲师, E-mail: smwsky@hrbeu.edu.cn

Supported by: National Natural Science Foundation of China (51309066)

neighborhood median filter. Result shows that the presented method has higher segmentation accuracy, shorter operation time, and stronger performance of keeping edge information than the other methods because of its combination with neighborhood median filter. **Conclusion** By comparing with the traditional FCM and other improved FCMs, the presented method combined with mean filter and traditional square neighborhood median filter can segment side-scan sonar image quickly and effectively and has strong antinoise performance, robustness, and real-time performance.

Key words: fuzzy clustering; side-scan sonar image; image segmentation; combination median filter

0 引言

侧扫声纳作为一种有效的水下探测工具,目前已被广泛应用于水下目标探测、海底管道跟踪以及海洋调查等任务。侧扫声纳图像一般包括 3 个部分:目标区、阴影区和海底混响区,具有背景复杂、对比度差和噪声污染重等特点^[1]。侧扫声纳图像分割的目的就是从复杂的背景中分别提取出目标区和阴影区,并尽量保持两区域原始的边缘信息^[2]。

模糊聚类分割算法(FCM)作为一种有效的分割手段,常用于侧扫声纳图像的分割当中^[3]。但传统的 FCM 算法没有考虑图像像素之间的关系^[4],而实际上一幅图像可以认为是一个逐渐变化的矩阵,像素间的关系非常重要。不考虑像素间关系的分割方法往往对噪声非常敏感^[5-6]。近年来,为了提高 FCM 算法的抗噪性,很多学者提出过多种改进的 FCM 算法,通过结合空间信息来增强 FCM 算法的抗噪性。Ahmed 等人^[7]改进了 FCM 的目标函数,将邻域均值引入目标函数(BCFCM),取得了较好的分割效果,但是 BCFCM 算法在更新隶属度矩阵和聚类中心时,每一步迭代过程都要计算邻域,运算速度较慢。为了降低计算的复杂度,Chen 等人^[8]对 Ahmed 的方法进行了改进,对图像先后采用了均值滤波和中值滤波,分别提出 FCM_S1 和 FCM_S2 两种改进算法,通过对图像进行滤波处理,估计出邻域内像素点对中心像素点的影响。

基于 Chen 等人的算法,提出一种改进的结合空间信息的模糊聚类侧扫声纳图像分割算法。对图像采用结合正十字邻域和斜十字邻域的组合邻域中值滤波,其相对传统中值滤波而言,能够在滤除噪声的同时保留更多的细节。为了控制图像灰度信息和空间信息的平衡,引入惩罚项,获得融合了两种信息的灰度图像。此外,还通过对 Chen 算法中的目标函数进行改进,来提高算法的运算速度。

1 模糊 C 均值聚类算法

1.1 传统的 FCM 算法

模糊 C 均值聚类算法是由 Dunn^[9]提出,并由 Bezdek^[10]发展起来的一种聚类算法。算法通过最小化基于某种范数和聚类原型的目标函数将没有标签的数据进行分类^[11]。令 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \subset R^s$ 表示给定的样本集合, s 是样本空间的维数, n 是样本个数, c 是对 X 进行划分的聚类个数。FCM 算法可以描述为

$$\min J_{fcm}(U, V) = \sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^n u_{ki}^m d_{ki}^2$$

式中, $m > 1$ 是模糊系数, U 是一个 $c \times n$ 的模糊划分矩阵, u_{ki} 是第 i 个样本 x_i 属于第 k 类的隶属度值, $V = [v_1, v_2, \dots, v_c]$ 是由 c 个聚类中心向量构成的 $s \times c$ 的矩阵, $d_{ki} = \|x_i - v_k\|$ 表示从样本点 x_i 到中心 v_k 的距离,通常采用欧氏距离。对目标函数,利用极值点的 KT 必要条件可以求得隶属度和聚类中心的迭代方程,即

$$u_{ki} = \left[\sum_{j=1}^c \left(\frac{d_{ki}}{d_{ji}} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right]^{-1} \quad (1)$$

$$k = 1, \dots, c; i = 1, \dots, n$$

$$v_k = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ki}^m x_i}{\sum_{i=1}^n u_{ki}^m}, k = 1, \dots, c \quad (2)$$

FCM 算法先初始化聚类中心(或者隶属度矩阵),然后利用式(1)(2)进行迭代直至满足设定的终止条件。

1.2 结合空间信息的 FCM 算法

1) Ahmed 等人^[7]为了能够很好地消除图像中的椒盐噪声,在 FCM 算法的目标函数中引入像素点的局部邻域均值,其目标函数为

$$J_m(U, V) = \sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^n u_{ki}^m \|x_i - v_k\|^2 +$$

$$\frac{\alpha}{N_R} \sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^n u_{ki}^m \sum_{r \in N_k} \|x_r - v_k\|^2$$

式中, x_r 表示以 i 点为中心的邻域 N_k 中像素点的灰度值, N_R 为邻域 N_k 中的像素个数, v_k 为聚类中心的灰度值, 参数 α 控制着局部邻域项对全局的影响。

2) Chen 等人^[8] 为了降低 BCFCM 算法计算的复杂度, 在 FCM 算法的目标函数中先后引入均值滤波和中值滤波, 构成了 FCM_S1 和 FCM_S2 算法, 这样可以避免在每次迭代过程中都进行的邻域均值计算, 此时的目标函数为

$$J_m(U, V) = \sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^n u_{ki}^m \|x_i - v_k\|^2 + \alpha \sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^n u_{ki}^m \|\bar{x}_i - v_k\|^2$$

式中, $\bar{x}_i$ 是以 x_i 为中心的 $N \times N$ 邻域的均值或者中值, α 是控制惩罚的效果, 起到平衡原图像和相应滤波图像的作用。

2 本文算法

侧扫声纳图像的噪声多为高频噪声^[12], 中值滤波对脉冲噪声、椒盐噪声等具有良好的去噪能力, 而且在相同尺寸下比线性平滑滤波器引起的模糊更少^[13]。传统的中值滤波(MF)常采用方形邻域, 但其并不适用于一些细节较多的图像。本文提出一种组合邻域中值滤波(CNMF), 该方法分别采用正十字邻域和斜十字邻域。其中, 正十字邻域窗口能保留图像中的水平和垂直细线, 滤除对角细线。斜十字邻域窗口对图像进行滤波能保留图像中的对角细线, 滤除水平细线和垂直细线。选取 5×5 区域内的正十字邻域和斜十字邻域(图1), 计算两个邻域内的中值, 经过比较两个中值的大小, 取数值较小者作

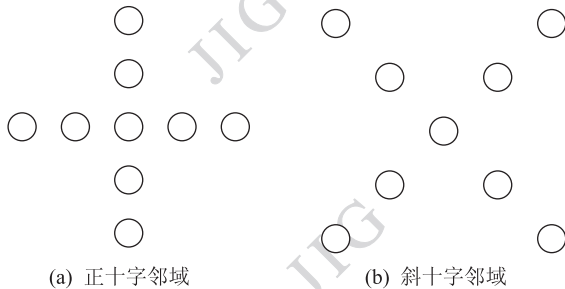


图1 组合邻域

Fig. 1 Combination neighborhood

为中心点像素的灰度级, 在平滑图像的同时能更好地保持目标区和阴影区边缘的细节。

此外, 对文献[8]中算法的目标函数进行修改, 以提高运算速度。本文算法目标函数为

$$J_m(U, V) = \sum_{k=1}^c \sum_{i=1}^n u_{ki}^m \|\eta_i - v_k\|^2 \quad (3)$$

$$\eta_i = \frac{x_i + \alpha \bar{x}_i}{1 + \alpha}$$

式中, $\bar{x}_i$ 为图像中值滤波后的灰度值, α 控制着空间信息和灰度信息的平衡。当 $\alpha = +\infty$ 时, 相当于只利用了空间信息; 当 $\alpha = 0$ 时, 算法退化为标准的 FCM 算法。 η_i 表示为融合了空间信息和灰度信息的灰度值。

利用极值点的 KT 必要条件可以求得隶属度和聚类中心的迭代方程为

$$u_{ki} = \frac{(\|\eta_i - v_k\|^2)^{-\frac{1}{m-1}}}{\sum_{k=1}^c (\|\eta_i - v_k\|^2)^{-\frac{1}{m-1}}} \quad (4)$$

$$v_k = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ki}^m \eta_i}{\sum_{i=1}^n u_{ki}^m} \quad (5)$$

在设定初始聚类中心 V_0 时, 根据侧扫声纳图像主要分为 3 类的特点, 将聚类中心 V_0 初始化为 $V_0 = \{v_g, v_b, v_s\}$, 其中, v_g 为阴影区的聚类中心, v_b 为背景区的聚类中心, v_s 是目标区的聚类中心。考虑到侧扫声纳图像背景区的灰度范围较大, 因此将背景区的聚类中心 v_b 进一步划分, 即 $v_b = \{v_{b1}, v_{b2}, v_{b3}\}$ 。令 $v_g = x_{\min} + 5$, $v_{b1} = 0.5 \times (v_g + x_{\text{mean}})$, $v_{b2} = x_{\text{mean}}$, $v_{b3} = 0.5 \times (v_s + x_{\text{mean}})$, $v_s = x_{\max} - 5$ 。其中, x_{mean} 为图像的灰度均值, $x_{\max}$ 为图像灰度最大值, $x_{\min}$ 为图像灰度最小值。即选取 5 个聚类中心, 在迭代结束后, 重新划分为 3 类, 这样可以减少图像的误分割^[14]。

本文改进的 FCM 算法流程如下:

- 1) 设定聚类个数 c , 收敛精度 ε , 模糊加权指数 m , 令迭代次数 $iter = 0$ 。
- 2) 用式(4)计算 U^{iter+1} ;
- 3) 用式(5)计算 V^{iter+1} , 令 $iter = iter + 1$;
- 4) 重复步骤 2)3), 直到满足如下的终止条件 $\|V^{iter} - V^{(iter-1)}\| \leq \varepsilon, iter \geq 1$, 其中 $\|\cdot\|$ 为某种合适的范数;

5) 根据隶属度最大的原则对图像进行灰度划分,目标区的灰度值用 255 表示,阴影区的灰度值用 0 表示,背景区的灰度值用 128 表示。

3 实验结果与分析

在 2.33 GHz 主频和 2 GB 内存的计算机上利用 Matlab2011 进行算法实现。本文选取不同尺寸的侧扫声纳图像,采用具有相同初始聚类中心的 FCM 算法、BCFCM 算法、FCM_S1 算法、FCM_S2 算法、本文改进的结合传统中值滤波的 FCM 算法 (FCM_MF) 以及组合邻域中值滤波的 FCM 算法 (FCM_CNMF) 进行分割实验。以手工分割结果为正确分割率的参考标准,对图像进行定量分析,通过对比目标区和阴影区的分割精度以及运算时间,分析每种算法的分

割性能。

图 2—图 4 分别为对不同尺寸侧扫声纳图像的模糊聚类算法的比较,由分割结果可见:传统的 FCM 算法因仅考虑了图像的灰度信息,所以当目标像素灰度和背景像素灰度接近时,难以对侧扫声纳图像得到有意义的分割结果;BCFCM 算法虽然融合了图像像素的空间信息,但其分割结果的抗噪性较差;FCM_S1 算法的分割结果较前两者好,但其分割结果的边缘细节损失较大;FCM_S2、FCM_MF 以及 FCM_CNMF 算法在考虑图像像素的空间信息时采用的是传统中值滤波和组合中值滤波,其能在滤除噪声的同时较好地保留边缘的细节。此外,从图 2 可以看出,FCM_CNMF 算法在保持目标边缘细节方面较 FCM_S2 和 FCM_MF 算法好。

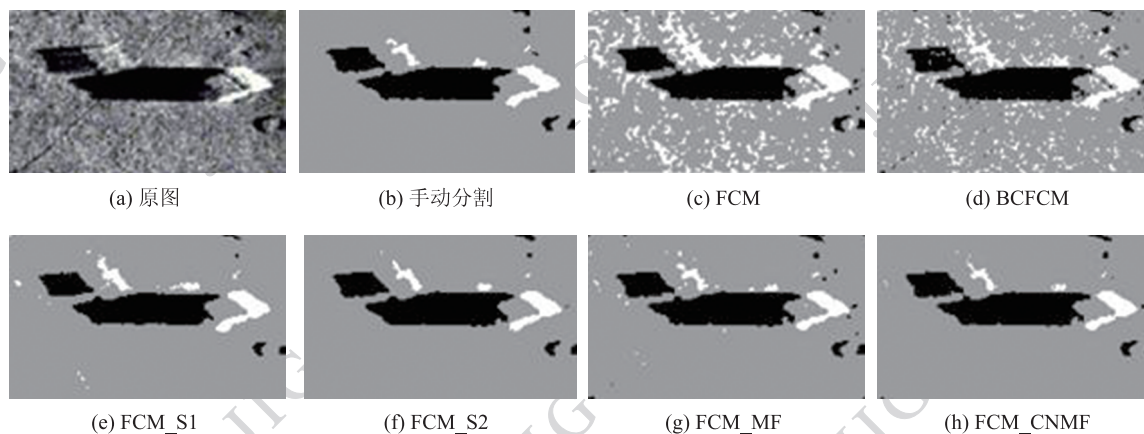


图 2 不同算法分割结果比较 (157 × 96)

Fig. 2 The comparison of segmentation results of different methods (157 × 96)

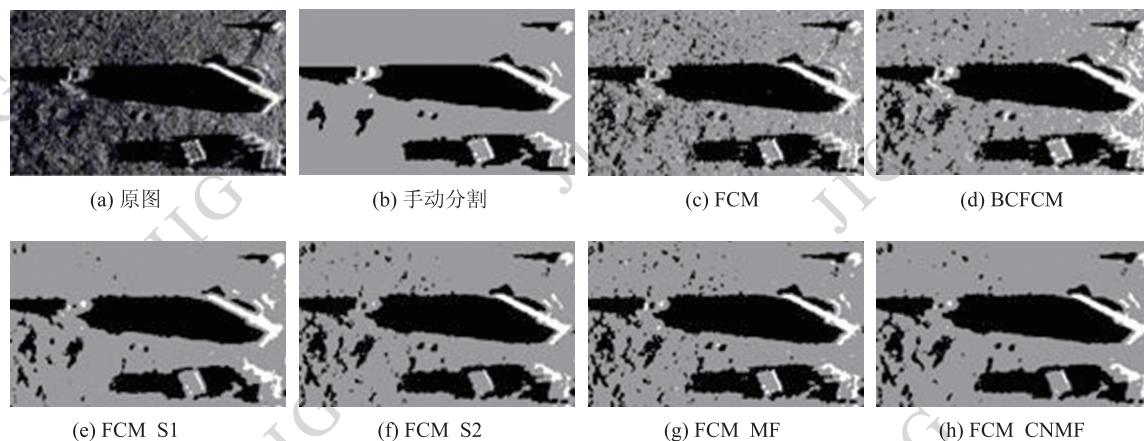


图 3 不同算法分割结果比较 (234 × 138)

Fig. 3 The comparison of segmentation results of different methods (234 × 138)

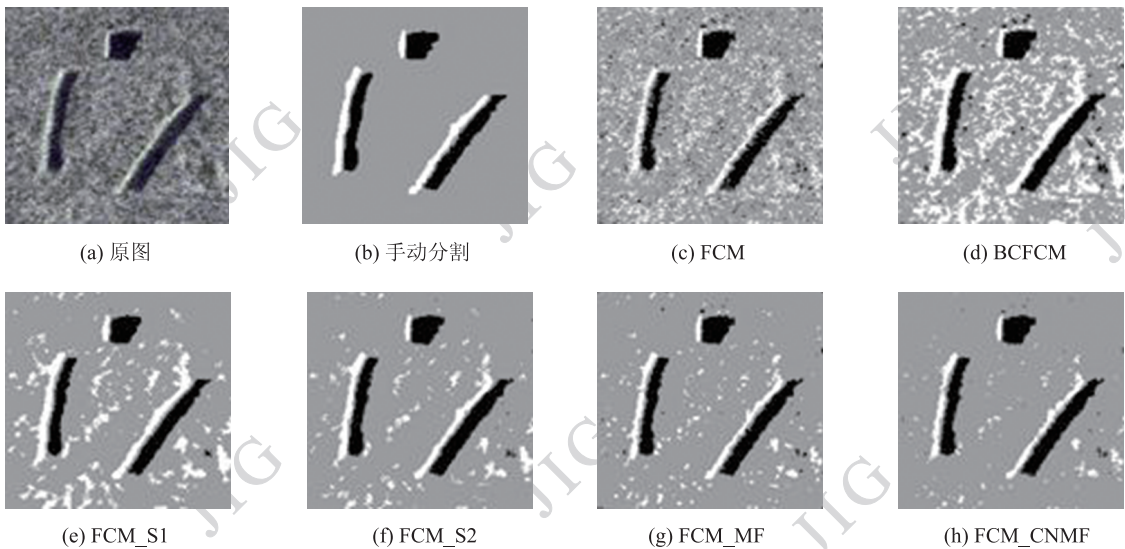


图 4 不同聚类算法的比较(158 × 153)

Fig. 4 The comparison of segmentation results of different methods(158 × 153)

主观评价的结果较难全面地反映出分割算法的优劣,通过对比每种分割算法的分割精度和运算时间,可以客观地对每种算法的分割性能进行评价。采用比较常用的图像分割精度评判方法——JS (Jaccard similarity) 方法^[15],对侧扫声纳图像的分割精度进行定量分析。其度量公式为

$$J(S_1, S_2) = \frac{|S_1 \cap S_2|}{|S_1 \cup S_2|} \quad (6)$$

式中, S_1 和 S_2 表示需要比较的两幅分割图像的目标区或阴影区。将上述 6 种模糊聚类算法的分割结果和手动分割结果进行比较,表 1 描述了采用上述 6 种算法的侧扫声纳图像目标区和阴影区的分割精度以及运算时间。

对表 1 中的数据进行分析可以得出:FCM 算法和 BCFCM 算法的分割精度比较低,而且运算时间较长;FCM_S1 算法的分割精度虽然优于前两种算法,但低于 FCM_S2、FCM_MF 和 FCM_CNMF 算法;在 3 种结合中值滤波的 FCM 算法中,FCM_S2 和 FCM_MF 算法的分割精度相差无几,而 FCM_CNMF 算法的分割精度略高于前两者,且运算时间最短。可见,本文提出的结合组合邻域中值滤波的 FCM_CNMF 算法的分割性能最好。

4 结 论

传统的 FCM 算法和 BCFCM 算法,在分割侧扫

表 1 分割精度与运算时间对比

Table 1 The comparison of segmentation precision and operation time

算法	评价指标	图 2	图 3	图 4
FCM	目标区分割精度/%	22. 94	46. 22	17. 36
	阴影区分割精度/%	87. 37	71. 18	60. 18
	运算时间/s	1. 315	1. 728	1. 167
BCFCM	目标区分割精度/%	17. 00	45. 56	12. 72
	阴影区分割精度/%	89. 43	76. 92	77. 56
	运算时间/s	0. 545	1. 040	0. 738
FCM_S1	目标区分割精度/%	62. 55	56. 58	24. 63
	阴影区分割精度/%	88. 30	79. 85	82. 33
	运算时间/s	0. 396	0. 929	0. 661
FCM_S2	目标区分割精度/%	72. 43	55. 18	36. 88
	阴影区分割精度/%	90. 94	80. 39	85. 30
	运算时间/s	0. 374	0. 890	0. 524
FCM_MF	目标区分割精度/%	69. 02	61. 50	40. 83
	阴影区分割精度/%	90. 32	80. 76	84. 37
	运算时间/s	0. 273	0. 876	0. 447
FCM_CNMF	目标区分割精度/%	73. 81	58. 02	49. 34
	阴影区分割精度/%	91. 75	82. 23	86. 25
	运算时间/s	0. 252	0. 416	0. 341

声纳图像时,其抗噪性和鲁棒性并不理想;FCM_S1算法结合均值滤波虽然取得了较好的抗噪效果,但在保持边缘细节方面的效果较差;FCM_S2、FCM_MF和FCM_CNMF算法分别结合传统方形邻域中值滤波和组合邻域中值滤波,在抗噪性和边缘保持方面均取得了较好的效果。其中,FCM_CNMF算法的分割精度较高,而且运算速度较快,综合性能较好,适用于侧扫声纳图像的快速分割。在下一步的工作中将进一步研究结合纹理信息的模糊聚类侧扫声纳图像分割算法。

参考文献 (References)

- [1] Mignotte M, Collet C, Perez P, et al. Hybrid genetic optimization and statistical model based approach for the classification of shadow shapes in sonar imagery[J]. IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intell., 2000, 22(2):129-141.
- [2] Liu G Y, Bian H Y, Shi H. Sonar image segmentation based on spectral matting using morphological operations[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2012, 42(1):229-230. [刘光宇, 卞红雨, 石红. 结合形态学运算的谱抠图声纳图像分割法[J]. 吉林大学学报:工学版, 2012, 42(1):229-230.]
- [3] Li K, Liu Z, Li C L, et al. Segmenting watershed sonar image by marker and fuzzy clustering[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2013, 41(6):50-51. [李轲, 刘忠, 李翀伦, 等. 基于标记和模糊聚类的分水岭声纳图像分割[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2013, 41(6):50-51.]
- [4] Liu H J, Ren M W, Yang J Y. An improved image segmentation method based on fuzzy clustering[J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(9):1312-1313. [刘华军, 任明武, 杨静宇. 一种改进的基于模糊聚类的图像分割方法[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(9):1312-1313.] [DOI: 10.11834/jig.200609221]
- [5] Wang L, Ye X F, Wang T. Segmentation algorithm of fuzzy clustering on side scan sonar image[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2012, 40(9):25-26. [王雷, 叶秀芬, 王天. 模糊聚类的侧扫声纳图像分割算法[J]. 华中科技大学学报:自然科学版, 2012, 40(9):25-26.]
- [6] Hu G, Li J, Huang B X. Image segmentation via fuzzy C-means clustering with spatial information[J]. Computer & Digital Engineering, 2008, 36(4):122-123. [胡广, 李娟, 黄本雄. 结合空间信息的模糊C均值聚类图像分割算法[J]. 计算机与数字工程, 2008, 36(4):122-123.]
- [7] Ahmed M N, Yamany S M, Mohamed N, et al. A modified fuzzy C-means algorithm for bias field estimation and segmentation of MRI data[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2002, 21(3):193-199.
- [8] Chen S, Zhang D Q. Robust image segmentation using FCM with spatial constraints based on new kernel-induced distance measure[J]. IEEE Transactions on System Man and Cybernetics—Part B, 2004, 34(4):1907-1916.
- [9] Dunn J C. A fuzzy relative of the ISODATA process its use in detecting compact well-separated clusters[J]. Cybernetics and Systems, 1974, 3:32-57.
- [10] Bezdek J C. Pattern Recognition With Fuzzy Objective Function-algorithms[M]. New York: Plenum Press, 1981.
- [11] Qu F H. Research on fuzzy clustering algorithm and its application[D]. Changchun: Jilin University, 2009. [曲福恒. 一类模糊聚类算法研究及其应用[D]. 长春: 吉林大学, 2009.]
- [12] Wang X M. Research and application of the underwater object segmentation algorithm based on the sonar imagery[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2008. [王兴梅. 水下声纳图像目标分割方法的研究和应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2008.]
- [13] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing[M]. 3rd ed. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011:205-206.
- [14] Wang L. Research on the side-scan sonar image segmentation algorithm[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2013. [王雷. 侧扫声纳图像分割算法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2013.]
- [15] Vovk U, Pernus F, Likar B. A review of methods for correction of intensity inhomogeneity in MRI[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2007, 26(3):405-421.