



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

2014

05

VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

流体模拟 P781





第19卷第5期（总第217期）

2014年5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

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@irsa.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@irsa.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

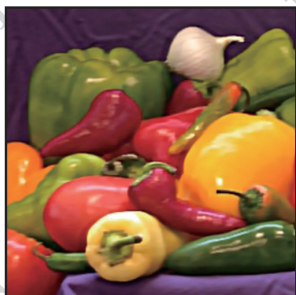
ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

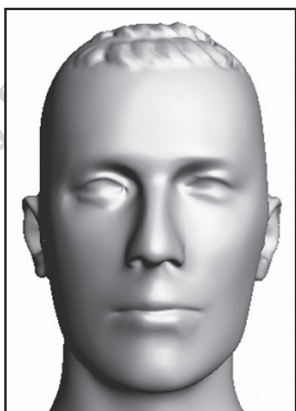
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

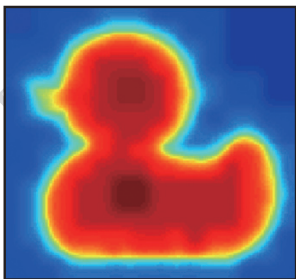
国内定价 50.00元



处理异常值的相机抖动模糊图像复原(第677页)



鲁棒的网格实时几何编辑算法(第764页)



从表面重构的体数据实现3维网格剖分(第771页)

综述

中国图像工程: 2013

章毓晋 0649

图像处理和编码

SAR复图像数据的CCSDS-IDC编码性能分析与二叉树编码

侯兴松, 韩敏, 龚晨 0659

记忆梯度追踪压缩感知图像重构

郭强, 吴成东 0670

处理异常值的相机抖动模糊图像复原

阮光诗, 孙俊喜, 孙阳, 刘红喜, 赵立荣, 刘广文 0677

Logistic视频字幕增强模型

李钦瑞, 吕学强, 李卓, 刘坤 0683

图像分析和识别

结合LPG&PCA的中智学图像分割

张桂梅, 王大雷 0693

融合多特征的运动一致性图像分割

魏国剑, 侯志强, 李武, 余旺盛 0701

壁画图像分类中的分组多实例学习方法

唐大伟, 鲁东明, 许端清, 杨冰 0708

采用加性核SVM的二尖瓣瓣根识别

徐伟, 姚丽萍, 宋薇, 杨新, 孙锟 0716

迭代的图变换匹配算法

李婷婷, 汤进, 江波, 罗斌, 徐立祥 0723

融合残差Unscented粒子滤波和区别性稀疏表示的鲁棒目标跟踪

杨彪, 林国余, 张为公, 路小波, 张宇歆 0730

图像理解和计算机视觉

梯度约束SFS的月面地形重构

徐辛超, 刘少创, 徐爱功 0739

单幅自然场景深度恢复

曹风云, 方帅, 胡玉娟, 王浩, 杨雪洁 0746

区域语义多样性密度的图像标注

王方方, 蒋建国, 郭丹 0755

计算机图形学

鲁棒的网格实时几何编辑算法

汪悦, 邓元凯, 钱归平 0764

从表面重构的体数据实现3维网格剖分

刘君, 陈伟强, 熊邦书 0771

交错网格结构的涡粒子烟模拟

杨阳, 杨旭波 0781

遥感图像处理

应用区域统计特征的PolSAR影像分割

刘振宇, 余洁, 谢东海, 刘利敏 0789

采用分裂Bregman的遥感影像亮度不均变分校正方法

王晓静, 李慧芳, 袁强强, 沈焕锋, 张良培 0798

基于Wallis与距离权重增强的无人机影像拼接缝消除

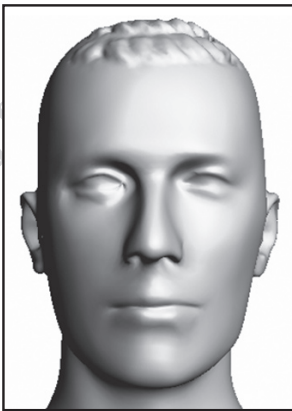
田金炎, 段福洲, 王乐, 李小娟, 屈新原 0806

CONTENTS

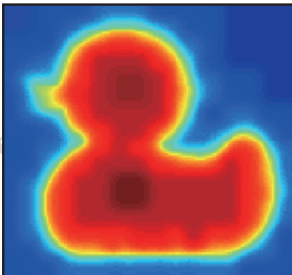
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Disposing of outliers in camera-shake blurred images restoration(P677)



Robust algorithm for real-time mesh geometric editing(P764)



Three-de mesh generation through volume data reconstructed from surface(P771)

Review

Image engineering in China: 2013 Zhang Yujin	0649
---	------

Image Processing and Coding

Performance analysis of CCSDS-IDC for SAR complex image data and quadtree-based SAR complex image data coding Hou Xingsong, Han Min, Gong Chen	0659
Image reconstruction of compressed sensing based on memory gradient pursuit Guo Qiang, Wu Chengdong	0670
Disposing of outliers in camera-shake blurred images restoration Nguyen Quangthi, Sun Junxi, Sun Yang, Liu Hongxi, Zhao Lirong, Liu Guangwen	0677
Logistic model for video caption enhancement Li Qinrui, Lyu Xueqiang, Li Zhuo, Liu Kun	0683

Image Analysis and Recognition

Neutrosophic image segmentation approach integrated LPG&PCA Zhang Guimei, Wang Dalei	0693
Motion coherence image segmentation fused with multi-feature Wei Guojian, Hou Zhiqiang, Li Wu, Yu Wangsheng	0701
Clustered multiple instance learning for mural image classification Tang Dawei, Lu Dongming, Xu Duanqing, Yang Bing	0708
Recognition of mitral annulus hinge point using additive SVM classifier Xu Wei, Yao Liping, Song Wei, Yang Xin, Sun Kun	0716
Iterative graph transformation matching algorithm Li Tingting, Tang Jin, Jiang Bo, Luo Bin, Xu Lixiang	0723
Robust object tracking incorporating residual unscented particle filter and discriminative sparse representation Yang Biao, Lin Guoyu, Zhang Weigong, Lu Xiaobo, Zhang Yuxin	0730

Image Understanding and Computer Vision

Lunar terrain reconstruction with SFS under gradient constraint Xu Xinchao, Liu Shaochuang, Xu Aigong	0739
Recovering depth from a single natural defocused image Cao Fengyun, Fang Shuai, Hu Yujuan, Wang Hao, Yang Xuejie	0746
Image annotation based on region-semantic diverse density Wang Fangfang, Jiang Jianguo, Guo Dan	0755

Computer Graphics

Robust algorithm for real-time mesh geometric editing Wang Yue, Deng Yuankai, Qian Guiping	0764
Three-de mesh generation through volume data reconstructed from surface Liu Jun, Chen Weiqiang, Xiong Bangshu	0771
Staggered grid structure for smoke simulation Yang Yang, Yang Xubo	0781

Medical Image Processing

Application region statistical characteristic for PolSAR imagery segmentation Liu Zhenyu, Yu Jie, Xie Donghai, Liu Limin	0789
Uneven intensity correction using split Bregman for remote sensing images Wang Xiaojing, Li Huifang, Yuan Qiangqiang, Shen Huanfeng, Zhang Liangpei	0798
UAV image seam elimination method based on Wallis and distance weight enhancement Tian Jinyan, Duan Fuzhou, Wang Le, Li Xiaojuan, Qu Xinyuan	0806

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)05-0693-08

论文引用格式: Zhang G M, Wang D L. Neutrosophic image segmentation approach integrated LPG&PCA[J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(5): 693-700. [张桂梅, 王大雷. 结合 LPG&PCA 的中智学图像分割[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(5): 693-700.] [DOI: 10.11834/jig.20140506]

结合 LPG&PCA 的中智学图像分割

张桂梅, 王大雷

南昌航空大学江西省图像处理与模式识别重点实验室, 南昌 330063

摘要: 目的 针对传统图像分割方法易受噪声干扰的影响, 提出一种新的结合 LPG&PCA (principal component analysis with local pixel grouping) 的中智学图像分割方法。方法 该方法首先利用中智学集合理论把图像转化成中智学图像; 然后建立 LPG&PCA 滤波模型, 利用图像中不确定性元素信息, 对图像进行 α -LPG&PCA 滤波运算和 β -增强运算, 使处理后的噪声点更加平滑; 最后, 利用 γ -均值聚类方法进行分割。结果 实验结果表明, 该算法可以有效地消除噪声, 提高图像的峰值信噪比, 在抗噪性、分割错误率等方面都有较佳的效果。结论 由于本文方法将中智学集合理论应用到图像分割中, 充分利用了图像中的不确定性因素, 从而提高了图像分割的精度。理论分析和实验结果表明了该算法的有效性。

关键词: 图像分割; 中智学; 主成分分析; 局部像素分组

Neutrosophic image segmentation approach integrated LPG&PCA

Zhang Guimei, Wang Dalei

Key Laboratory of Image Processing and Pattern Recognition, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China

Abstract: **Objective** Given the interference from noise, it is difficult to segment noisy images by traditional image segmentation method. Therefore, we propose a new neutrosophic image segmentation method integrating LPG&PCA (principal component analysis with local pixel grouping). **Method** First, the input image is converted into neutrosophic images by using the neutrosophic set theory. Then, we filter the noise image by applying the proposed α -LPG&PCA filtering operation, and advance the denoised image by employing the β -enhancing operation, with the uncertainty information from the input image, to smooth the noisy points in the input image. Finally, we segment the denoised and enhanced image with a γ -means clustering method. **Result** The experimental results indicate that the proposed algorithm can eliminate noise effectively as well as improve the PSNR, therefore, our method can achieve desirable results in noise immunity and segmentation accuracy. **Conclusion** The accuracy of our algorithm is improved, through the neutrosophic set theory and the uncertainty information from the input image. Theoretical analysis and experimental results show the effectiveness of the proposed algorithm.

Key words: image segmentation; neutrosophy; principal component analysis (PCA); local pixel grouping (LPG)

收稿日期: 2013-10-14; 修回日期: 2013-12-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(61063030, 61263046, 61165011)

第一作者简介: 张桂梅(1970—), 女, 教授, 2006 年于西北工业大学获计算机视觉专业博士学位, 主要研究方向为计算机图形学, 图形图像处理与模式识别。E-mail: guimei.zh@163.com

0 引言

图像分割是计算机视觉中的一个经典难题,是图像分析的第一步,分割的结果直接决定图像的最终分析质量和模式识别的判定结果。随着计算机技术的不断发展,图像分割广泛应用于遥感图像和生物医学图像分析、保安监视、智能交通、产品检测和目标识别等方面。

目前,图像分割方法主要包括基于区域、边缘和结合特定理论的图像分割方法^[1]。在基于区域、边缘的图像分割方面^[2-3],孔丁科等人^[2]提出了基于区域相似性的活动轮廓 SAR 图像分割,该算法结合图像强度和纹理信息真实度量量子区域的成对相似性和几何活动轮廓模型,克服了传统活动轮廓 SAR 分割模型高度依赖统计分布假定的缺点。何宁等人^[3]提出基于边缘和区域信息相结合的变分水平集图像分割方法。该算法把图像边缘梯度信息和区域全局信息的能量函数作为模型的外部能量项,引入内部变形能量约束水平集函数来逼近符号距离函数,并融入了物体形状先验知识的附加约束信息,提高了分割精度。结合特定理论的图像分割方法^[3-6],文献[4-5]提出了新的彩色空间重构标记分水岭分割算法和偏微分方程与分水岭算法的图像分割,它们都能有效克服过分割;李旭超等人^[6]提出图像分割中的模糊聚类方法,该算法是用单分辨率和多分辨率等方法改进的模糊 C 均值聚类;Ma 等人^[7]提出一种利用不均匀光照模型修改的模糊 C 均值聚类方法,这些方法对噪声敏感,且在处理空间信息不确定性上存在不足,导致分割不理想,但中智学可以有效地解决这个问题,近几年,中智学理论^[8]被应用到图像分割中,它可以有效地处理图像中不确定性的像素点。Cheng 等人^[9]提出一种新的基于中智学的阈值分割算法,该算法可以自动有效地选择阈值;文献[10-12]提出了中智学的图像去噪与图像分割算法,其可以消除噪声以及有效地分割图像,但该方法也受噪声干扰,影响图像分割质量。然而图像噪声、图像的纹理和图像的复杂度均会影响图像分割的精度。本文主要是针对噪声图像(包括图像中的不确定因素)进行研究。

为了解决以上问题,提出一种新的结合 LPG&PCA (principal component analysis with local pixel grouping)^[13]的中智学图像分割方法。本文主要贡献如下:

1)引入中智学集合理论对原图像进行中智学转化,转化后的图像可以量化图像空间的不确定性信息,利用图像不确定性的信息,可以提高图像分割的精度;

2)利用 LPG&PCA 运算进行滤波处理,LPG&PCA 运算可以有效地消除噪声,因此本文的分割方法适合于存在不同程度的噪声图像;

3)把中智学图像中的不确定性和真实性的图像重新组成新的图像,再用改进的 γ -均值聚类方法进行聚类分割,解决了图像空间信息的不确定性,提高了分割的质量。

1 基本理论

中智学^[8],是哲学的一个分支,作为辩证法的概括,研究中立性的起源、本质、范畴及与不同思想观念间的相互作用;是中智学集合、中智逻辑、中智概率论以及中智统计学的基础。

1.1 中智学集合

假设 U 是空间全集,且中智集合 A 是集合 U 的子集。元素 $x \in A$ 记为 $x(t, i, f)$,其中 t, i 和 f 分别表示在元素 x 中的真实性、不确定性和非真实性概率,且分别在 T, I 和 F 中变化^[8]。 T, I, F 为 $[-0, 1^+]$ 的标准和非标准实数子集, $[-0, 1^+]$ 表示非标准单位区间,而 $-0 = 0 - \varepsilon, 1^+ = 1 + \varepsilon$,其中“0”、“1”表示标准部分,“ ε ”表示非标准部分, ε 为无穷小数 ($\varepsilon > 0$)。且有

$$\begin{aligned} \sup T &= t_{\sup} & \inf T &= t_{\inf} \\ \sup I &= i_{\sup} & \inf I &= i_{\inf} \\ \sup F &= f_{\sup} & \inf F &= f_{\inf} \\ n_{\sup} &= t_{\sup} + i_{\sup} + f_{\sup} \\ n_{\inf} &= t_{\inf} + i_{\inf} + f_{\inf} \end{aligned}$$

式中, $x_{\sup}(x = t, i, f)$ 表示在中智集合 A 中的上限;而 $x_{\inf}(x = t, i, f)$ 表示在中智集合 A 中的下限, T, I 和 F 是中智集合的组成部分。中智集合的子集并不一定是区间,可以是任何一个实数单位子集,可离散也可连续;单一元素、有限或无限等。

1.2 中智学图像

中智学图像就是图像在中智学领域中的表述^[10]。设 U 为论域, W 为图像像素值组成的集合, W 为 U 的子集,利用中智学集合理论将图像转化为中智学图像。中智学图像由 3 个子集合 T, I, F 组成。其中 T 表示图像的真实性; I 表示图像的不确

定性; F 表示图像的不真实性。 $P(t,i,f)$ 表示图像的像素点 P ,其表示意义为此像素点 $t\%$ 的概率为真; $i\%$ 的概率为不确定; $f\%$ 的概率为假,其中, $t \in T$; $i \in I$; $f \in F$ 。

2 本文图像分割算法描述

本文图像分割问题可表述为:当图像受噪声干扰时,如何有效地利用图像的不确定性元素信息及滤波处理方法,获得更理想的感兴趣区域的图像。

本文图像分割算法总体思想为:首先将原图像转换到中智学图像论域中,获得中智学图像;然后对图像 T 进行 α -LPG&PCA运算和 β -增强运算操作,并计算图像 I 的熵;最后,利用图像中不确定性的信息,重新构建新集合,再对其进行 γ -均值聚类。本文图像分割算法的整体流程如图1所示。

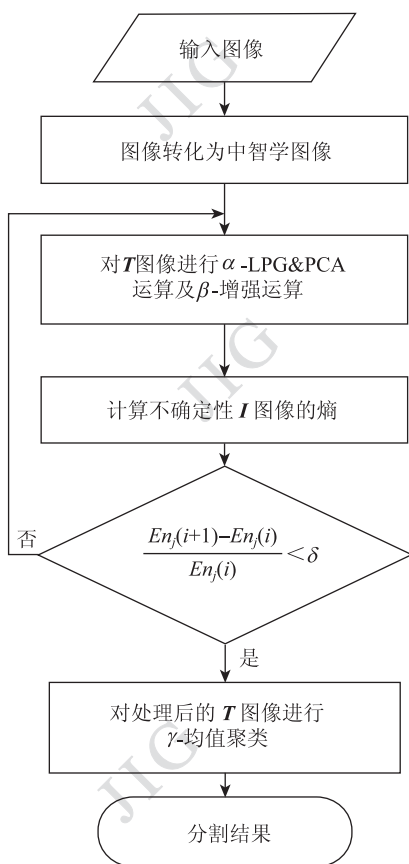


图1 算法流程图

Fig. 1 Diagram of the segmentation

本文涉及图像中智学转换、 T 图像的 β -增强和 α -LPG&PCA运算操作、计算 I 图像的熵及 γ -均值聚类5个主要步骤。

2.1 中智学图像转换

设 U 为论域, W 为图像像素值组成的集合, W 为 U 的子集,应用中智学集合理论将图像转化为中智学图像 P_{NS} ,其由3个子集合 T 、 I 、 F 组成,即 $P_{NS}(i,j) = \{T(i,j), I(i,j), F(i,j)\}$ (因为本文对子集合图像 F 不作处理,所以公式不再涉及)。

$$T(i,j) = \frac{\bar{g}(i,j) - \bar{g}_{\min}}{\bar{g}_{\max} - \bar{g}_{\min}} \quad (1)$$

$$\bar{g}(i,j) = \frac{1}{w} \sum_{m=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{n=j-w/2}^{j+w/2} g(m,n) \quad (2)$$

$$I(i,j) = \frac{\delta(i,j) - \delta_{\min}}{\delta_{\max} - \delta_{\min}} \quad (3)$$

$$\delta(i,j) = \text{abs}(g(i,j) - \bar{g}(i,j)) \quad (4)$$

式中, $g(i,j)$ 是像素点 (i,j) 的灰度值, $\bar{g}(i,j)$ 是 $g(i,j)$ 为 5×5 区域的均值, $\bar{g}_{\max}$ 、 $\bar{g}_{\min}$ 分别表示 $\bar{g}(i,j)$ 的最大值和最小值, $\delta(i,j)$ 是 $g(i,j)$ 和 $\bar{g}(i,j)$ 的绝对差值。图2所示无噪声Lena图中智学转化的图像,图2(a)表示中智学图像中的真实 T 图像,图像轮廓变得模糊,图2(b)表示中智学图像中的不确定 I 图像,其显示图像边缘信息。

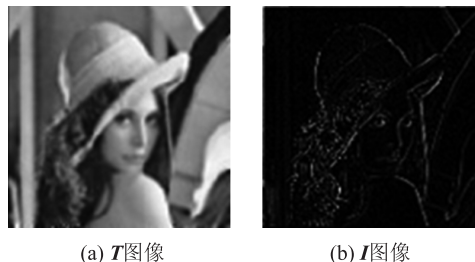


图2 中智学图像

Fig. 2 Neutrosophic image

2.2 β -增强运算

图像经过转化到中智学图像,图像轮廓比较模糊,不利于图像分割。利用模糊集中对集合元素增强运算原理^[14],对中智图像 P_{NS} 中的 T 图像进行 β -增强运算获得 $T'(\beta)$,使模糊的图像轮廓变得更加清晰,其增强公式为

$$T'(\beta) = \begin{cases} T(i,j) & I(i,j) < \beta \\ T'_\beta(i,j) & I(i,j) \geq \beta \end{cases} \quad (5)$$

$$T'_\beta(i,j) = \begin{cases} 2T^2(i,j) & T(i,j) \leq 0.5 \\ 1 - 2(1 - T(i,j))^2 & T(i,j) > 0.5 \end{cases} \quad (6)$$

式(6)是文献[14]中对模糊集中集合元素增强的运算公式;而式(5)是文献[10]中对图像增强运算。对中智学 T 图像进行 β -增强运算,实验结果如图3所示。由图3得知,图3(b)增强图像比 T 图像的轮廓变得更加清晰,更利于图像的分割。选择参数 β 为 0.85 主要有两个原因:一是多次实验所得效果比较好的参数;二是选择与文献[10]相同参数,更方便与文献[10]算法进行比较。



(a) T 图像 (b) 增强 T 图像

图3 图像增强

Fig. 3 Image enhancement

2.3 中智学图像熵

图像的熵是对图像的评估与描述。如果熵值越大,将描述为灰度值有相同的概率与均匀分布,反之,将描述为有不同概率和分布不匀称。

在中智学图像中,中智学图像熵是3个子集合图像 T 、 I 和 F 熵的总和即 $En_{NS} = En_T + En_I + En_F$, 式中, En_T 表示图像 T 的熵, En_I 表示图像 I 的熵, En_F 表示图像 F 的熵。由于本文算法中对图像 T 、 F 的熵不作运算,其计算公式省略,因此中智学图像 I 的熵计算公式为

$$En_I = - \sum_{i=\min\{I\}}^{\max\{I\}} p_I(i) \ln p_I(i) \quad (7)$$

式中, En_I 是图像 I 的熵, $p_I(i)$ 是元素 i 在图像 I 的概率, $\max\{I\}$ 和 $\min\{I\}$ 分别表示图像 I 中像素的最大值与最小值。

2.4 α -LPG&PCA 运算

图像存在噪声时,图像分割易受到噪声的干扰,分割效果差,影响图像分析与理解。为了解决这个问题,运用 LPG&PCA 滤波运算,消除图像噪声,便于后面的图像分割。

LPG&PCA 滤波的基本思想:首先建立 LPG&PCA 滤波模型如图4所示,在 $K \times K$ 窗口内,以噪声点为中心的所有元素点构成一个矢量,其表示为 $\mathbf{x} = [x_1, \dots, x_m]^T$, $m = K^2$, 噪声 $\mathbf{x}_v = \mathbf{x} + \mathbf{v}$, 则噪声矢量表示为 $\mathbf{x}_v = [x_1^v, \dots, x_m^v]^T$, 在 $L \times L$ ($L > K$) 训练

区块中,通过训练可计算得到 $\mathbf{x}_v$ 的协方差矩阵和 PCA 变换矩阵,最后运用 PCA 算法滤波去噪。

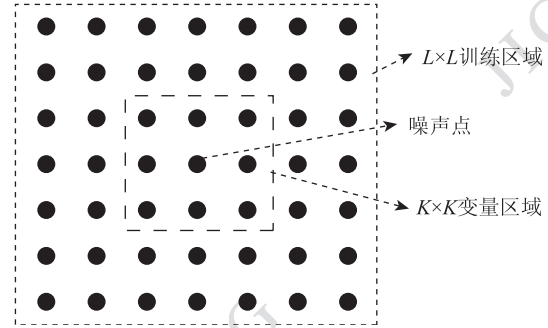


图4 LPG&PCA 滤波模型

Fig. 4 Filter model of LPG&PCA

LPG&PCA 滤波原理为:噪声图像表示为 $\mathbf{X}_v = \mathbf{X} + \mathbf{V}$, $\mathbf{X}_v$ 表示 $m \times n$ 的噪声图像, $\mathbf{X}$ 表示原图像, $\mathbf{V}$ 表示噪声。向量 $\mathbf{x}_v$ 有 n 个 x_k^v 样本点组成, $k = 1, 2, \dots, m$ 。 $\mathbf{X}_k^v$ 表示包含 n 个 x_k^v 样本的行矢量, 图像 $\mathbf{X}_v = [(\mathbf{X}_1^v)^T \dots (\mathbf{X}_m^v)^T]^T$, $\mathbf{X}_k^v$ 的均值为 $\mu_k = (1/n) \sum_{i=1}^n \mathbf{X}_k^v(i)$, 使 $\mathbf{X}_k^v$ 集中于 $\bar{\mathbf{X}}_k^v = \mathbf{X}_k^v - \mu_k$, 于是就得到 $\bar{\mathbf{X}}_v = \bar{\mathbf{X}} + \mathbf{V}$ 。 $\bar{\mathbf{X}}_v$ 在训练区域中,可以计算出 $\bar{\mathbf{X}}_v$ 的协方差矩阵 $\Omega_{\bar{\mathbf{x}}_v}$ 与 PCA 变换矩阵 $\mathbf{P}_{\bar{\mathbf{x}}}$, 即

$$\Omega_{\bar{\mathbf{x}}_v} = \Phi_{\bar{\mathbf{x}}} \Lambda_{\bar{\mathbf{x}}_v} \Phi_{\bar{\mathbf{x}}}^T \quad (8)$$

$$\mathbf{P}_{\bar{\mathbf{x}}} = \Phi_{\bar{\mathbf{x}}}^T \quad (9)$$

式中, $\Lambda_{\bar{\mathbf{x}}_v}$ 表示对角特征值矩阵, $\Phi_{\bar{\mathbf{x}}}$ 是正交矩阵。从 $\bar{\mathbf{X}}_v$ 到 $\bar{\mathbf{Y}}_v$ 进行区域转换为: $\bar{\mathbf{Y}}_v = \mathbf{P}_{\bar{\mathbf{x}}} \bar{\mathbf{X}}_v = \mathbf{P}_{\bar{\mathbf{x}}} \bar{\mathbf{X}} + \mathbf{P}_{\bar{\mathbf{x}}} \mathbf{V} = \bar{\mathbf{Y}} + \mathbf{V}_v$, 由于 $\bar{\mathbf{Y}}$ 与 $\mathbf{V}_v$ 是不相关的, 所以 $\bar{\mathbf{Y}}_v$ 的协方差矩阵为

$$\Omega_{\bar{\mathbf{Y}}_v} = (1/n) \bar{\mathbf{Y}}_v \bar{\mathbf{Y}}_v^T = \Omega_{\bar{\mathbf{Y}}} + \Omega_{\mathbf{V}_v} \quad (10)$$

利用 LMMSE (linear minimum mean square-error estimation) 技术,对变换后的均值噪声图像 $\bar{\mathbf{Y}}_v$ 进行去噪,其算法公式为

$$\bar{\mathbf{Y}}_k^v = \omega_k \cdot \bar{\mathbf{Y}}_v^k \quad (11)$$

式中, $\bar{\mathbf{Y}}_k^v$ 的 LMMSE 是 $\bar{\mathbf{Y}}_v$ 的第 k 行, ω_k 表示收缩系数, $\bar{\mathbf{Y}}_v^k$ 是 $\bar{\mathbf{Y}}_v$ 的第 k 行。先用式(8)计算出用 $\Omega_{\bar{\mathbf{Y}}_v}$, 通过用 $\Omega_{\bar{\mathbf{Y}}}(k, k) = \Omega_{\bar{\mathbf{Y}}_v}(k, k) - \Omega_{\mathbf{V}_v}(k, k)$ 对 $\Omega_{\bar{\mathbf{Y}}}(k, k)$ 进行估计, 当在均质区域时, 设置 $\omega_k = 0$, 在图像 $\bar{\mathbf{Y}}_v^k$ 中的所有噪声将被去除。对以上区域转化, 公式为

$$\hat{\bar{\mathbf{X}}} = \mathbf{P}_{\bar{\mathbf{x}}}^T \cdot \hat{\bar{\mathbf{Y}}} \quad (12)$$

式中, $\hat{\bar{\mathbf{Y}}}$ 表示 $\bar{\mathbf{Y}}_k^v$ 的全部矩阵, $\mathbf{P}_{\bar{\mathbf{x}}}^T$ 表示 $\mathbf{P}_{\bar{\mathbf{x}}}$ 的转置矩阵, 而 $\hat{\bar{\mathbf{X}}} = \hat{\bar{\mathbf{X}}} - \mu_k$, $\hat{\bar{\mathbf{X}}}$ 表示对图像 $\mathbf{X}$ 的估计值。因为

$\hat{x}_0$ 表示从 $w \times w$ 掩模板区域 $\hat{X}$ 中提取的 x_0 的估计值, x_0 表示 $w \times w$ 掩模板区域内中心值的列向量,所以可以从 $\hat{x}_0$ 中提取掩模板区域的中心噪声点 (i,j) 。通过以上操作可以对图像中的每个点进行去噪处理,因此将这个去除噪声过程称之为LPG&PCA运算。

利用LPG&PCA与中智学原理,针对图像存在元素不确定性时,进行去噪。因为当用LPG&PCA运算处理点 (i,j) 的同时,也用不确定 $I(i,j)$ 作为判断,所以把这个过程称为 α -LPG&PCA运算。

仅对 T 图像进行 α -LPG&PCA运算,运算后得到 $T'(\alpha)$,即

$$T'(\alpha) = \begin{cases} T(i,j) & I(i,j) < \alpha \\ T'_\alpha(i,j) & I(i,j) \geq \alpha \end{cases} \quad (13)$$

当 $I(i,j) < \alpha$ 时,保留该点的像素值不作任何处理;当 $I(i,j) \geq \alpha$ 时,将该点作为目标点进行LPG&PCA运算处理得 $T'_\alpha(i,j)$; $T'(\alpha)$ 表示 T 图像经过 α -LPG&PCA运算后的图像,实验结果如图5所示。在实验运算中,参数 α 取0.85时,实验结果比较佳。经过 α -LPG&PCA运算后,不确定性 $I(i,j)$ 的熵被减少,图像中不确定性像素变得更加均匀,且噪声点得到有效消除。



(a) 噪声图像 (b) LPG&PCA滤波图像

图5 噪声图像及LPG&PCA滤波图像

Fig. 5 Noise image and LPG & PCA filtered image

2.5 γ -均值聚类

在聚类算法中, k 均值聚类是经典聚类算法之一^[15-16]。但当 k 均值聚类算法对图像中存在噪声或不确定元素信息时,图像分割效果不理想。为了解决这个问题,应用 γ -均值聚类算法进行聚类分割。 γ -均值聚类是在中智学集合理论的基础上,对 k 均值聚类算法的一种改进。考虑图像中存在不确定性元素信息,把 T 图像和 I 图像与转化为一个新的图像 X ,其转化公式为

$$X(i,j) = \begin{cases} T(i,j) & I(i,j) \leq \gamma \\ \bar{T}_\gamma(i,j) & I(i,j) > \gamma \end{cases} \quad (14)$$

式中

$$\bar{T}_\gamma(i,j) = \frac{1}{w \times w} \sum_{m=i-w/2}^{i+w/2} \sum_{n=j-w/2}^{j+w/2} T'(m,n) \quad (15)$$

γ -均值聚类中新的聚类目标函数为

$$J_{TC} = \sum_{l=1}^K \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W \|X(i,j) - Z_l\|^2 \quad (16)$$

聚类中心满足条件

$$Z_l = \frac{1}{n_l} \sum_{X(i,j) \in C_l} X(i,j) \quad (17)$$

3 实验结果与分析

实验所采用的计算机环境为Pentium(R) D2.60 GHz CPU, 2.0 G内存, 程序采用Matlab2010a实现。为了验证本文算法的有效性, 实验选用文献[10]中的图像如图6所示, 图像均为灰色图像。为了便于比较, 参数选取为文献[10]的, $\alpha = \beta = \gamma = 0.85$; MFCM(modified fuzzy C-Means)算法的分类参数设置为3, 其他都为默认值。



(a) Original图 (b) Lena图 (c) Lake图

图6 3幅原始图像

Fig. 6 Three images of the original

3.1 实验与结果分析

实验1 选用合成图像, 均由3个灰度值0、127、255组成, 如图6(a)所示。为了验证本文算法的有效性, 对图6(a)加入为均值为0、方差为0.05的高斯噪声, 如图7(a)所示。对加噪声图像分别用文献[7]算法、文献[10]算法以及本文算法进行图像分割对比实验, 实验结果如图7所示。

由实验分割结果得, 文献[7]算法具有一定的抑制噪声功能, 但仍受噪声影响从而产生错误分割; 文献[10]算法比文献[7]在分割区域上更均匀一致; 文献[10]算法在中智学集合的基础上, 利用图像中存在不确定元素信息, 对图像进行分割效果, 由于滤波器去噪不彻底, 在分割时同时受到噪声干扰, 导致图像局部边缘产生锯齿形, 出现误分割。但其实验分割结果比文献[7]算法效果要好。本文算法分割结果如图7(d)所示, 该算法主要在中智学理论

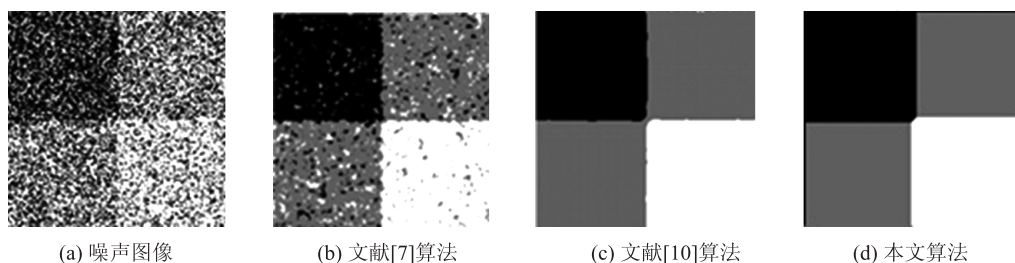


图7 不同算法分割结果比较

Fig. 7 The comparison of segmentation results of different methods

的基础上,利用 α -LPG&PCA 运算滤波去噪,消除噪声比较理想,再通过改进的均值聚类方法进行分割,解决了文献[7]算法与文献[10]算法的不足,使分割结果更接近理想分割。

实验2 选用图6(b)和图6(c)进行实验,在不同程度噪声干扰的情况下,验证本文算法的有效性。图像分割结果如图8和图9所示。

加入均值为0、方差为2.55的高斯噪声如图8(a)所示。文献[7]算法受噪声干扰严重,不能有效地对目标分割,脸部和帽子等区域有明显的颗粒状,分割不理想;由于高斯噪声影响,文献[10]算法和本文算法在帽子和头发等区域边缘处分割效果不同。文献[10]算法比文献[7]算法分割区域比较均匀一致,但也受噪声干扰,产生误分割;本文算法利

用 α -LPG&PCA 运算处理,有效地消除了图像噪声,使分割区域更加均匀一致,分割效果比较理想。

在 Lake 原图像中有树木、草坪、湖面和天空4类目标,其中天空与湖面灰度值相似归为同一类。对原图像加入均值为0、方差为0.03的高斯噪声如图9(a)所示,将其分割成3类如图9所示。由于文献[7]算法受噪声影响,分割后图像中存在部分颗粒状的误分割,使分割效果不显著;由图9(c)得知,文献[10]算法对噪声有较好的抑制功能,其分割结果比文献[7]算法分割的效果好,但也受噪声干扰,使分割图像边缘区域不平滑,产生错误分类。本文算法分割的结果比文献[7]和文献[10]算法分割效果较好。该算法利用 α -LPG&PCA 运算对图像去噪处理,通过对轮廓模糊的中智学图像 T 进行 β -增强



图8 文献[7,10]分割结果与本文算法分割结果比较

Fig. 8 The comparison of segmentation results of different methods

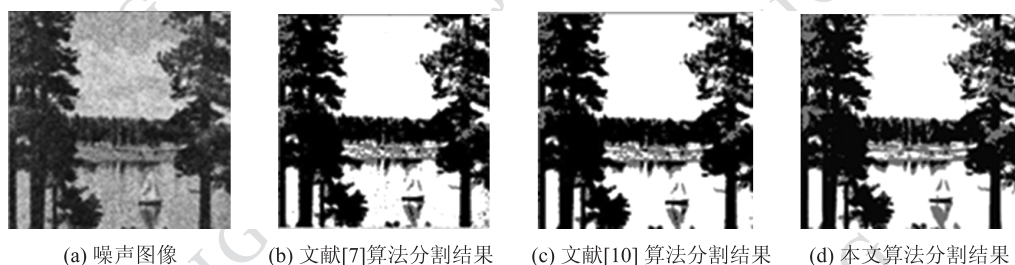


图9 文献[7,10]分割结果与本文算法分割结果比较

Fig. 9 The comparison of segmentation results of different methods

运算,再利用中智学图像的熵对增强后的图像进行评估,使图像灰度更加均匀后再进行分割。本文算法分割的图像受噪声干扰小,分割结果比较理想。

3.2 性能评价

在相同PC机下进行实验,用图像分割错误率和峰值信噪比进行图像分割的性能评价。

3.2.1 分割错误率

图像分割的质量可以用图像分割错误率进行评估,将分割图像与理想图像进行比较。分割错误率

$$e = (P_{\text{ideal}} - P_{\text{real}}) / P_{\text{ideal}} \quad (18)$$

式中, P_{ideal} 表示理想图像的像素点总数,即原图像的像素点总数; P_{real} 表示为真实图像的像素点总数,即分割图像的像素点总数; e 表示分割错误率。利用式(18)对分割图像的错误率进行计算,表1为本文算法与文献[7]、文献[10]分割结果错误率比较, $G(0,0.01)$ 表示均值为0,方差为0.01的高斯噪声。由表1可以看出,文献[10]算法比文献[7]算法分割结果的错误率低14.40%;而本文算法比文献[10]算法分割结果的错误率低12.08%,比文献[7]算法分割结果的错误率低26.49%。由此可以得出本文算法的分割最理想。

表1 本文算法与文献[7]、文献[10]分割结果错误率

Table 1 The comparison of three segmentation results error rate

含噪声图像	文献[7]算法	文献[10]算法	本文算法
$G(0,0.01)$	0.371 3	0.220 2	0.109 0
$G(0,0.03)$	0.371 4	0.220 1	0.106 0
$G(0,0.04)$	0.371 2	0.230 4	0.105 3
$G(0,0.05)$	0.372 1	0.239 1	0.106 2

3.2.2 峰值信噪比 $G(0,0.03)$

图像易受噪声的干扰,影响图像分割的质量,消除噪声是提高图像分割的关键因素,采用LPG&PCA运算滤波处理方法有效的解决噪声干扰问题,利用图像的峰值信噪比(PSNR)来评估图像分割的质量,计算公式为

$$\text{PSNR} = \frac{255 \times 255}{\frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (g(i,j) - g'(i,j))^2} \quad (19)$$

式中, m 、 n 表示图像的大小, $g(i,j)$ 原始图像在 (i,j) 处的灰度值, $g'(i,j)$ 处理过后的图像在 (i,j) 处的灰度值,PSNR表示分割图像的峰值信噪比。在相同

的噪声条件进行实验,表2表示本文算法与文献[7]、文献[10]算法PSNR值对比。从表2得知,在抑制噪声方面,本文算法比文献[7]有显著的提高,比文献[10]也有较好的提高,所以本文算法分割效果理想。

表2 本文算法与文献[7,10]分割结果PSNR值对比

Table 2 The comparison of three segmentation results PSNR

图像分割算法	Original 图像	Lena 图像	Lake 图像
文献[7]	15.829 3	10.693 9	9.235 6
文献[10]	21.829 2	15.696 3	12.235 6
本文	28.130 8	18.588 4	16.089 6

4 结 论

采用局部像素(PLG)、主成分分析(PCA)与中智学理论相结合,提出一种新的结合PLG&PCA的中智学方法。本文算法利用图像局部像素信息建立滤波模型,在主成分分析原理中去除噪声,再利用不确定性中智学图像的熵进行评估,所以使得待分割图像灰度更均匀一致,获得了较好的分割效果。该算法可以有效地消除噪声,提高图像的峰值信噪比,在抗噪性、错误率等方面都有理想的效果。理论分析和实验结果表明了该算法的有效性。本文主要针对灰度图像进行研究,也可以将该方法拓宽到彩色图像,即先把彩色图像转化为灰度图像后,再应用本文算法进行图像分割。

参考文献(References)

- [1] Xu X Z, Ding S W, Shi Z Z, et al. New theories and methods of image segmentation[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(2A): 76-82. [许新征, 丁世伟, 史忠植, 等. 图像分割的新理论和新方法[J]. 电子学报, 2010, 38(2A): 76-82.]
- [2] Kong D K, Wang G Z. Region-similarity based active contour model for SAR image segmentation[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2010, 22(9): 1559-1960. [孔丁科, 汪国昭. 基于区域相似性的活动轮廓SAR图像分割[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2010, 22(9): 1559-1960.]
- [3] He N, Zhang P. Variational level set image segmentation method based on boundary and region information[J]. Acta Electronica Sinica, 2009, 37(10): 2215-2219. [何宁, 张朋. 基于边缘和

- 区域信息相结合的变分水平集图像分割方法[J]. 电子学报, 2009, 37(10): 2215-2219.]
- [4] Zhang G M, Zhou M M, Ma K. Image segmentation algorithm for reconstruction labeling watershed in color space[J]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17(5): 641-647. [张桂梅, 周明明, 马珂. 基于彩色模型的重构标记分水岭分割算法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(5): 641-647.] [DOI: 10.11834/jig.20120506]
- [5] Ning J F, Wu C K, Jing G, et al. Image segmentation based on partial differential equation and watershed algorithm[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2008, 21(5): 664-669. [宁纪锋, 吴成柯, 姜光, 等. 基于偏微分方程和分水岭算法的图像方程和分水岭算法的图像分割[J]. 模式识别与人工智能, 2008, 21(5): 664-669.]
- [6] Li X C, Liu H K, Wang F, et al. The survey of fuzzy clustering method for Image segmentation[J]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17(4): 447-458. [李旭超, 刘海宽, 王飞, 等. 图像分割中的模糊聚类方法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(4): 447-458.] [DOI: 10.11834/jig.20120401]
- [7] Ma L, Staunton R C. A modified fuzzy C-means image segmentation algorithm for use with uneven illumination patterns[J]. Pattern Recognition, 2007, 40(11): 3005-3011.
- [8] Smarandache F. A Unifying Field in Logics: Neutrosophic Logic, Neutrosophy, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability [M]. Rehoboth, USA: American Research Press, 2005.
- [9] Cheng H D, Guo Y. A new neutrosophic approach to image thresholding[J]. New Mathematics and Natural Computation, 2008, 4(3): 291-308.
- [10] Guo Y, Chen H D. New neutrosophic approach to image segmentation[J]. Pattern Recognition, 2009, 42: 587-595.
- [11] Guo Y, Chen H D. A new neutrosophic approach to image denoising[J]. New Mathematics and Natural Computation, 2009, 5(3): 653-662.
- [12] Zhang M, Zhang L, Chen H D. A neutrosophic approach to image segmentation based on watershed method [J]. Signal Processing, 2010, 90(5): 1510-1517.
- [13] Zhang L, Dong W S, Zhang D. Two-stage image denoising by principal component analysis with local pixel grouping [J]. Pattern Recognition, 2010, (43): 1531-1549.
- [14] Pal S K, King R. Image enhancement using smoothing with fuzzy sets[J]. IEEE Trans. Syst, Man Cybern, 1981, 11(7): 494-500.
- [15] Cinque L, Foresti G, Lombardi L. A clustering fuzzy approach for image segmentation [J]. Pattern Recognition, 2004, 37(9): 1797-1807.
- [16] Hang Z H, Xiang Y, Zhang B, et al. An efficient method for K-Means clustering[J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2010, 23(4): 516-521. [黄震华, 向阳, 张波, 等. 一种进行 K-Means 聚类的有效方法[J]. 模式识别与人工智能, 2010, 23(4): 516-521.