



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
12
VOL.19

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



图像色彩和谐变化 P1766



第19卷第12期（总第224期）

2014年12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

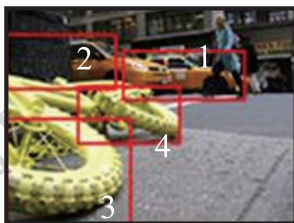
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

国内定价 50.00元



改进鱼眼变换技术的图像适应(第1743页)



面向部件遮挡补偿的车辆检测模型(第1802页)



基于暗原色及入射光假设的单幅图像去雾(第1812页)

综述

视频摘要技术综述

王娟, 蒋兴浩, 孙铨锋 1685

局部二进制模式方法综述

刘丽, 谢毓湘, 魏迎梅, 老松杨 1696

图像处理和编码

2维全相位内插核的设计与实现

苏飞, 孙杰, 秦娟, 段宇翔 1721

改进的正则化模型在图像恢复中的应用

李旭超, 宋博 1730

改进鱼眼变换技术的图像适应

张丽霞, 区兆明, 宋鸿陟 1743

去除乘性噪声的分数阶变分模型及算法

田丹, 薛定宇, 陈大力 1751

丢包环境中H.264视频编码的快速模式判决

兰梦, 张远, 魏雨农 1759

图像分析和识别

偏度和峰度的图像色彩和谐变化

马云芳, 宋明黎, 卜佳俊 1766

结合稀疏表示和概率潜在语义的图像模糊度评价

张涛, 王新年, 梁德群 1775

Log-Gabor小波和分数阶多项式KPCA的火焰图像状态识别

宋昱, 吴一全 1785

加权局部二值模式的人脸特征提取

张洁玉, 武小川 1794

面向部件遮挡补偿的车辆检测模型

陈远, 谢昭, 吴克伟 1802

基于暗原色及入射光假设的单幅图像去雾

於敏杰, 张浩峰 1812

空间可变有限混合模型

申小虎, 吕导中, 万荣春 1820

遥感图像处理

高分辨率极化SAR图像水平集分割

邹鹏飞, 李震, 田帮森 1829

混合本征模型的多视SAR影像海冰密度检测

汪霄箭, 李玉, 赵泉华, 何晓军 1836

总目次

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Improved fisheye transformation for image retargeting (P1743)



Part-oriented occlusion compensate model for vehicle detection(P1802)



Single-image dehazing based on dark channel and incident light assumption(P1812)

Review

- Review of video abstraction
Wang Juan, Jiang Xinghao, Sun Tanfeng 1685
- Survey of Local Binary Pattern method
Liu Li, Xie Yuxiang, Wei Yingmei, Lao Songyang 1696

Image Processing and Coding

- Design and implementation of 2D all-phase interpolation kernel
Su Fei, Sun Jie, Qin Juan, Duan Yuxiang 1721
- Applying the improved regularization model to image restoration
Li Xuchao, Song Bo 1730
- Improved fisheye transformation for image retargeting
Zhang Lixia, Ou Zhaoming, Song Hongzhi 1743
- Fractional-order variation model and algorithm for multiplicative noise removal
Tian Dan, Xue Dingyu, Chen Dali 1751
- Fast-mode decision for H.264 video coding in a packet-loss environment
Lan Meng, Zhang Yuan, Wei Yunong 1759

Image Analysis and Recognition

- Image color harmonization algorithm using skewness and kurtosis
Ma Yunfang, Song Mingli, Bu Jiajun 1766
- Image blur evaluation based on sparse representation and probabilistic latent semantic analysis
Zhang Tao, Wang Xinnian, Liang Dequn 1775
- State identification of boiler combustion flame images via Log-Gabor wavelet and kernel principal component analysis with fractional power polynomial models
Song Yu, Wu Yiquan 1785
- Feature extraction of faces based on a weighted local binary pattern
Zhang Jieyu, Wu Xiaochuan 1794
- Part-oriented occlusion compensate model for vehicle detection
Chen Yuan, Xie Zhao, Wu Kewei 1802
- Single-image dehazing based on dark channel and incident light assumption
Yu Minjie, Zhang Haofeng 1812
- Spatially variant finite mixture model
Shen Xiaohu, Lyu Daozhong, Wan Rongchun 1820

Remote Sensing Image Processing

- High-resolution PolSAR image level set segmentation
Zou Pengfei, Li Zhen, Tian Bangsen 1829
- Intrinsic mixture model-based measurement of sea ice density from a multi-look SAR image
Wang Xiaojian, Li Yu, Zhao Quanhua, He Xiaojun 1836

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)12-1829-07

论文引用格式: Zou P F, Li Z, Tian B S. High-resolution PolSAR image level set segmentation[J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(12): 1829-1835. [邹鹏飞, 李震, 田帮森. 高分辨率极化 SAR 图像水平集分割[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(12): 1829-1835.] [DOI: 10. 11834/jig. 20141215]

高分辨率极化 SAR 图像水平集分割

邹鹏飞^{1,2}, 李震¹, 田帮森¹

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100094; 2. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: **目的** 传统的极化 SAR 图像分割方法中, 由于采用的统计分布模型不能较好地描述高分辨率的图像纹理特征, 导致高分辨率极化 SAR 图像分割效果较差。针对这个问题, 本文将具有广泛适用性的 KummerU 分布嵌入到水平集极化 SAR 图像分割方法中, 提出了一种新的极化 SAR 图像分割算法。**方法** 将 KummerU 分布作为高分辨率极化 SAR 图像的统计模型, 定义一种适用于极化 SAR 图像分割的能量泛函; 利用最大似然法对各个区域的 KummerU 分布进行参数估计, 并通过数值偏微分方程的方法求解水平集函数, 实现极化 SAR 图像的区域分割。**结果** 分别对仿真全极化数据, 真实全极化数据进行分割实验, 结果表明本文提出的方法其分割精度高于传统方法, 分割精度高于 95%, 从而验证了新方法的有效性。**结论** 本文算法能够对各向同质区和各向异质区的极化 SAR 图像都能取得良好的分割效果, 并适应于多种场景, 有效地分割出背景和目标。

关键词: KummerU; 分割; 水平集; 极化 SAR 图像

High-resolution PolSAR image level set segmentation

Zou Pengfei^{1,2}, Li Zhen¹, Tian Bangsen¹

1. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: **Objective** Statistical models cannot agree well with the distribution of texture in a high-resolution synthetic aperture radar (SAR) image. Obtaining good results with traditional polarimetric SAR (PolSAR) image segmentation methods is therefore difficult. To overcome this problem, we propose a new PolSAR image segmentation method that combines KummerU distribution and the level set framework. **Method** The proposed method defines a new energy function with the KummerU probability density function as a high-resolution PolSAR image statistical model. The method is therefore suitable to PolSAR image segmentation. To implement PolSAR image segmentation, the parameters of KummerU distribution are estimated with the maximum likelihood method. The level set function is applied to the numerical solution of a partial differential equation. **Result** Experiments are based on synthetic-full-polarization and real-full-polarization SAR images. All experiments show good results, with an accuracy level above 95% compared with that of the traditional method and which therefore proves the applicability of the proposed algorithm. **Conclusion** We propose a novel PolSAR image segmentation method based on a level set framework. The algorithm is applicable to high-resolution PolSAR images. Experiment results indicate that our model can be effectively used in most scenes and can separate targets from the background in homogeneous, heterogeneous, and extremely heterogeneous areas.

Key words: KummerU; segmentation; level set; PolSAR image

收稿日期: 2014-05-20; 修回日期: 2014-08-28

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863) 基金项目(2011AA120403); 国家自然科学基金项目(41201447)

第一作者简介: 邹鹏飞(1990—), 男, 中国科学院遥感与数字地球研究所地图学与地理信息系统专业硕士研究生, 主要研究方向为微波遥感、SAR 图像分割。E-mail: zoupengfei90@126.com

0 引言

合成孔径雷达(SAR)图像分割作为 SAR 图像解译关键步骤,是雷达遥感应用领域的重要研究内容之一。但是,由于 SAR 图像固有的相干斑噪声,传统的 SAR 图像分割方法需要通过预处理以抑制噪声,从而容易产生过分割或欠分割的现象。水平集图像分割方法是近年计算机视觉的研究热点,能够适应图像拓扑关系变化,且稳定性良好,在医学图像,光学遥感图像, SAR 图像上均取得了良好的分割效果^[1-5]。利用水平集方法,结合 SAR 图像的统计分布信息建立能量泛函,可以在不需要对 SAR 图像相干斑噪声进行滤波等处理的情况下获取比较准确的分割效果。

随着 SAR 图像的分辨率越来越高,传统的基于水平集的 SAR 图像分割算法也在不断发展。对于单极化 SAR 图像、Fisher 分布、 G^0 分布等被广泛运用到高分辨率 SAR 图像水平集分割中^[6],但对于极化 SAR 图像,利用水平集进行极化 SAR 图像分割的应用研究中,分割采用的图像区域统计模型主要是 Wishart 统计模型。基于该模型的方法对于低分辨率的极化 SAR 图像分割取得了较好的效果。但是,对于高分辨率极化 SAR 图像,由于每个分辨单元的散射体数目大量减少,图像中易包含强散射点或具有复杂的纹理特征,此时极化 SAR 图像纹理呈现不均匀或极不均匀的特性(即噪声非完全发育)。基于 Wishart 分布的极化 SAR 统计模型则不再有效,需要重新考虑。Bombrun, Dougeris 等人提出了 KummerU 概率统计分布作为极化 SAR 图像的统计模型,并结合 KummerU 分布以及区域生长算法,对高分辨率极化 SAR 图像分割提取中,取得了比结合 Wishart 分布的分割算法更准确的结果。

本文利用水平集方法,将 KummerU 分布作为高分辨率极化 SAR 图像统计模型,建立极化 SAR 图像分割的能量泛函模型,并在水平集分割过程中加入了距离限制项^[7],以避免水平集函数重新初始化,通过求解演化方程,实现对高分辨率极化 SAR 图像的分割。

1 水平集方法

1.1 KummerU 统计模型

对于低分辨率图像,经典的 Wishart 分布模

型被广泛运用到极化 SAR 数据的水平集分割中^[3]。对于高分辨率图像,则需要重新考虑极化 SAR 的杂波分布模型。SIRV 模型被广泛运用到极化 SAR 图像的统计分布异构建模中。SIRV 模型定义目标向量 $\mathbf{k}$ 为一个正随机量 τ (表示纹理) 的均方根与独立零均值的复高斯向量 $\mathbf{z}$ 的乘积^[8],即

$$\mathbf{k} = \sqrt{\tau} \mathbf{z} \quad (1)$$

纹理量 τ 满足不同的统计分布时, $\mathbf{k}$ 向量则可以描述不同的杂波模型(如 Gaussian 分布, K 分布等)。当纹理量 τ 满足 Fisher 分布时,其对应的 $\mathbf{k}$ 向量统计模型为 KummerU 分布。

Fisher 分布的 PDF 定义为^[9]

$$p_{\mu}(\mu) = \frac{\Gamma(L+M)}{\Gamma(L)\Gamma(M)} \frac{L}{Mm} \frac{\left(\frac{L\mu}{Mm}\right)^{L-1}}{\left(1 + \frac{L\mu}{Mm}\right)^{L+M}} \quad (2)$$

式中, m 为尺度参数, L 和 M 为两个形状参数。其对应的 KummerU 概率密度函数定义为^[8]

$$p(\mathbf{k}) = \frac{1}{\pi^p |[\mathbf{M}]| \Gamma(L)\Gamma(M)} \left(\frac{L}{Mm}\right)^p \Gamma(p+M) \times U(p+M; 1+p-L; \frac{L}{Mm} \mathbf{k}^H [\mathbf{M}]^{-1} \mathbf{k}) \quad (3)$$

式中, p 为向量 $\mathbf{k}$ 的维度,对于全极化 SAR 图像, $\mathbf{k} = [\mathbf{S}_{HH}, \sqrt{2}\mathbf{S}_{HV}, \mathbf{S}_{VV}]^T$ ^[8], $\mathbf{S}_{HH}$, $\mathbf{S}_{HV}$, $\mathbf{S}_{VV}$, 分别对应 HH、HV、VV 极化向量。

为评估 Fisher 概率分布对极化 SAR 图像的纹理参数的拟合度,分别选取了 C、L 波段的两个样本区域进行分析。如图 1 所示,红线和绿线分别代表 Gamma 分布和 Inverse Gamma 分布,而 Fisher 分布则能够覆盖两个分布之间的区域,即红线绿线中间区域。从图 1 可以看出, Fisher 分布能够良好拟合极化 SAR 图像的纹理参数。

由于 Fisher 分布可以通过 Gamma 分布和 Inverse Gamma 分布卷积而得,因此 KummerU 分布亦可通过调节 L, M 参数来模拟其他分布,研究表明:当 $M \rightarrow \infty$ 时, Fisher 分布趋向于 Gamma 分布,此时 KummerU 分布趋向于 K 分布;当 $L \rightarrow \infty$ 时, Fisher 分布趋向于 Inverse Gamma 分布,此时 KummerU 趋向于 G^0 分布;当 L, M 同时较大时, KummerU 分布趋向于 Gaussian 分布。因此, KummerU 分布能够同时描述均匀与不均匀区域,模拟不同类型地物的概率统计模型^[10]。

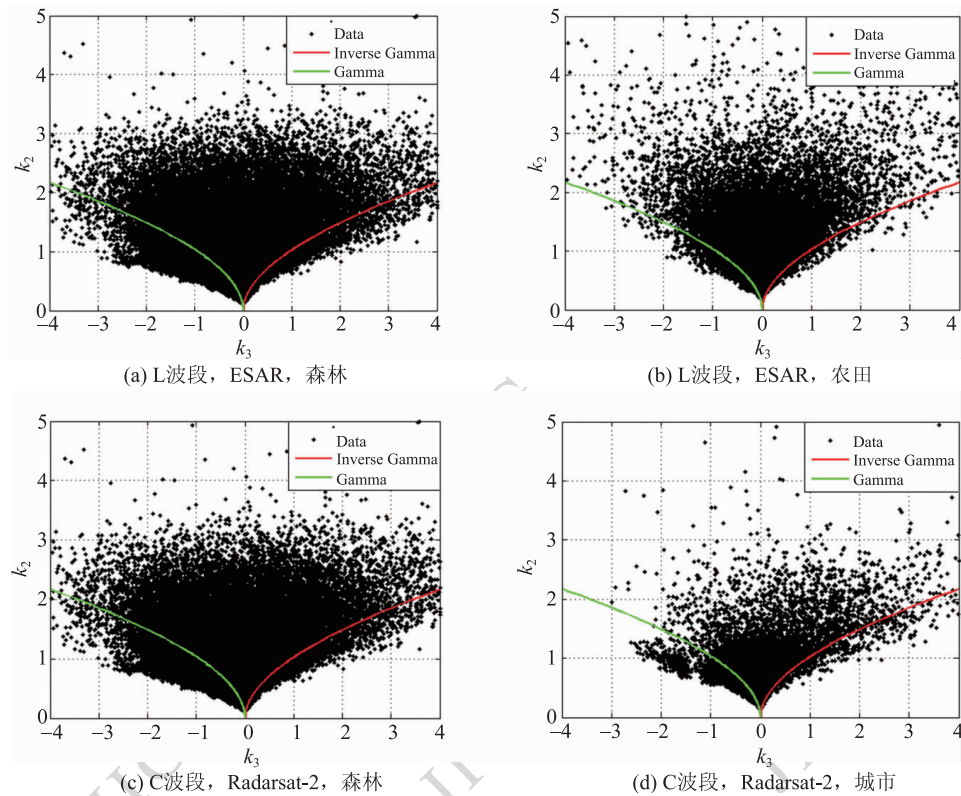


图 1 Fisher 拟合范围示意图

Fig. 1 Fisher fitting diagram

1.2 基于 KummerU 分布的能量泛函及最小化求解

由贝叶斯准则和极化 SAR 图像的 KummerU 概率统计模型可以定义极化 SAR 图像分割方法的能量泛函为^[1]

$$E(\phi, P_t, P_b) = a \int_{\Omega} \delta_0(\phi) |\nabla_{\phi}| dx - \quad (4)$$

$$\lambda_t \int_{\Omega_t} H(\phi) \ln P_t dx - \lambda_b \int_{\Omega_b} (1 - H(\phi)) \ln P_b dx$$

式中, H 为正则化的 Heaviside 函数, 即

$$H_{\varepsilon}(z) = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2}{\pi} \arctan\left(\frac{z}{\varepsilon}\right) \right] \quad (5)$$

$\delta_0(\phi) = \frac{1}{\pi \varepsilon^2 + \phi^2}$, 为 $H_{\varepsilon}(\phi)$ 的导数; P_t, P_b 分别为零水平集曲线划分的目标区域和背景区域的 KummerU 分布概率。

由变分原理 $\frac{\partial E}{\partial \phi} = -\frac{\partial \phi}{\partial t}$, 最小化能量泛函得到活动轮廓演化的偏微分方程为^[1]

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \delta_{\varepsilon}(\phi) \left[\alpha \operatorname{div} \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) - \lambda_t \ln P_t + \lambda_b \ln P_b \right] \quad (6)$$

对于区域数量 $N > 2$ 的情况, 采用 Mansouri 提出的

区域竞争策略多区域分割算法^[11]。对于区域个数为 N 时, 定义 $N-1$ 个水平集函数, 因此可以由最大似然准则得到曲线演化方程

$$\frac{\partial \phi_k}{\partial t} = \delta_{\varepsilon}(\phi_k) \left[\alpha \operatorname{div} \left(\frac{\nabla \phi_k}{|\nabla \phi_k|} \right) + \ln P_k - \max_{l \neq k} (\ln P_l) \right] \quad (7)$$

$k = 1, 2, \dots, N$

式中, $\ln P_k - \max_{l \neq k} (\ln P_l)$ 为区域竞争项。

为避免水平集函数重新初始化且提高迭代效率, 本文方法中加入了距离改正项^[1], 得

$$\frac{\partial \phi_k}{\partial t} = \delta_{\varepsilon}(\phi_k) \left[\alpha \operatorname{div} \left(\frac{\nabla \phi_k}{|\nabla \phi_k|} \right) + \mu \operatorname{div} (d_p |\nabla \phi_k| \nabla \phi_k) + \ln P_k - \max_{l \neq k} (\ln P_l) \right] \quad (8)$$

式中, $d_p(s) = \frac{p'(s)}{s}$, $p(s)$ 函数定义为

$$p(s) = \begin{cases} \frac{1}{(2\pi)^2} (1 - \cos(2\pi s)) & s \leq 1 \\ \frac{1}{2} (s-1)^2 & s > 1 \end{cases} \quad (9)$$

最后, 得出本文方法所得偏微分方程为

$$\frac{\partial \phi_k}{\partial t} = \delta_{\varepsilon}(\phi_k) \left[\alpha \operatorname{div} \left(\frac{\nabla \phi_k}{|\nabla \phi_k|} \right) + \mu \operatorname{div} (d_p |\nabla \phi_k| \nabla \phi_k) + \right]$$

$$\ln P_k(k|m^k, L^k, M^k) - \max_{l \neq k} (\ln P_l(k|m^l, L^l, M^l)) \quad (10)$$

1.3 KummerU 参数估计

虽然由式(10)的曲线演化方程可以驱动曲线的演化,但要实现极化 SAR 图像的分割,需要对 KummerU 分布的参数进行估计更新,从而更新水平集函数,得到正确的分割结果。本文对 KummerU 的分布参数 m, L, M 的估计方法是最大似然法,使用最大似然法进行估计的参数比使用对数矩的估计方法更加准确。首先需要估计出归一化的协方差矩阵 $\hat{M}$,即

$$[\hat{M}] = f([\hat{M}]) = \frac{p}{N} \sum_{i=1}^N \frac{k_i k_i^H}{k_i^H [\hat{M}]^{-1} k_i} \quad (11)$$

式中, $\text{tr}([\hat{M}]_{FP}) = p$, p 为散射向量 k 的维度,然后根据协方差矩阵估计出每个向量对应的 Fisher 纹理参数

$$\tau_i = \frac{k_i^H [\hat{M}]^{-1} k_i}{p} \quad (12)$$

对纹理参数进行归一化处理可得

$$\mu = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1, j \neq i}^N \tau_j \quad (13)$$

$$\xi_i = \frac{\tau_i}{\mu} \quad (14)$$

则 ξ 满足参数为 L, M 的 beta 分布,通过估计 beta 分布的 L, M 参数,从而获取 Fisher 分布的 $m = \frac{\mu L}{M}$, L , M 参数。

1.4 算法流程图

本文分割算法的处理步骤流程如图 2 所示,算法流程主要分为以下几个步骤:

1) 初始化水平集函数。根据区域个数 N , 确定 $N-1$ 个水平集函数,根据每个水平集函数 $\phi_i > 0$ 区域内像素估计其协方差矩阵 $\hat{M}$; 由协方差矩阵 $\hat{M}$, 估计出 Fisher 纹理参数 τ ; 通过纹理参数 τ 估计其 Fisher 分布的 m, L, M 参数。

2) 计算水平集函数。对每个像素进行偏微分方程计算,得到 $N-1$ 个水平集函数该像素点对应的能量函数值。

3) 更新水平集函数。根据计算后的水平集函数值重新确定水平集函数 $\phi_i > 0$ 区域内像素估计其协方差矩阵 $\hat{M}$, 并重新估计参数 m, L, M 。

4) 判断当前迭代次数及水平集函数值变化判断当前迭代次数是否小于设定的最大迭代次数以及水平集函数值是否有变化,如果小于最大迭代次数且函数值有变化则继续迭代,否则迭代结束。

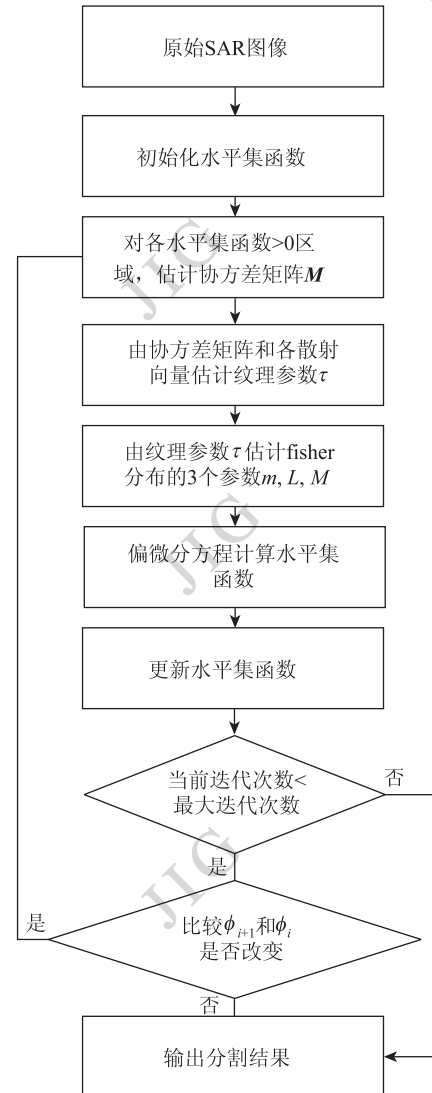


图 2 算法流程图

Fig. 2 The flow chart of our algorithm

2 实验结果及分析

运用基于 KummerU 统计分布的水平集极化 SAR 图像分割方法对仿真和真实极化 SAR 图像进行分割,并与基于 Wishart 分布的水平集分割方法^[3]进行比较。同时采用陆海刚提出的正确像素百分比(PCP)作为检验指标对分割结果进行评定,充分验证了本文方法的有效性。PCP 定义为

$$PCP = \left(1 - \frac{l}{M \times N}\right) \times 100\% \quad (15)$$

式中, l 为错误分割的像素个数。

2.1 实验 1 仿真图像的分割

图 3(a) 为 1 幅大小为 208×166 的模拟全极化 SAR 图像, 图像中含有 3 类不同类型的地物。利用本文提出的基于 KummerU 统计分布和基于 Wishart 统计分布^[3]的水平集分割方法进行分割实验, 其中在利用 Wishart 分布进行水平集分割之前对原始 SAR 图像进行了多视处理, 其等效视数为 9。图 3(b) 为采用 Ayed^[3] 提出方法分割所得结果, 可以看出, 虽然对极化 SAR 图像进行了多视处理, 降低了相干斑噪声

对于分割的干扰, 但 Wishart 分布由于不能较好地模拟 SAR 图像的纹理特征, 分割结果中存在较多错分的局部小区域碎点, 而 KummerU 分布则能够较好地模拟其纹理特征, 分割错误率较低。因此, 本文分割方法其分割结果和精度都要优于传统方法。

2.2 实验 2 真实图像的分割

图 4(a) 为选取自 ESA Roberpfaffenhfen 实验场的 ESAR 机载 L 波段数据, 大小为 251×255 。由图 4 可以看到, 基于 Wishart 分布的方法对于森林的分割较差, 不能有效识别森林中存在的强散射点和森林的纹理特征。而本文方法则能够有效地解决这一问题, 因而可以得到较好的分割结果。

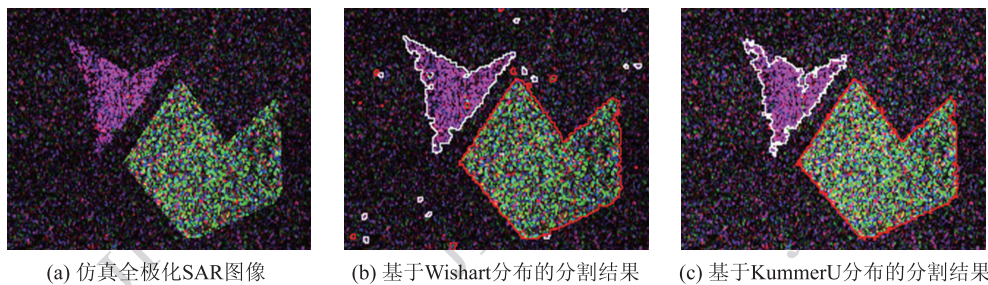


图 3 仿真全极化 SAR 图像及其分割结果

Fig. 3 Synthetic full polarization SAR image and its segmentation results



图 4 Roberpfaffenhfen ESAR 图像及其分割结果

Fig. 4 Roberpfaffenhfen ESAR image and its segmentation results

图 5(a) 为选取自根河实验区的 Radarsat-2 数据 (Pauli 假彩色合成), 大小为 285×100 。图 5(b) 为使用 Ayed^[3] 方法分割所得结果, 图 5(c) 为本文提出方法分割结果。从分割结果可以看出, 由于农田周围的地物后向散射非常不均一, 呈现出较多发育不完全的噪声点, 基于 Wishart 分布的分割方法无法将这些噪声点识别为背景区域, 造成了较多的误分。而 KummerU 分布则能够有效拟合这些发育不完全的噪声点, 因此得到了较好的分割结果。图 5(d) 为统计 PCP 随迭代次数变化示意图, 从图 5(d) 中可以看出, 尽管本文所采用的基于 KummerU 分布

的方法其迭代次数较传统更多, 但加入距离限制项后 (DRLSE), 能够显著加快迭代收敛速度, 约 200 次左右快速迭代收敛, 因此本文提出的方法具有较强的适应。

对两组分割实验计算 PCP 结果如表 1 所示。从表 1 可以看出, 本文所采用的方法分割精度平均均在 90% 以上。尽管本文方法对于计算效率有所牺牲, 但采用了 DRLSE 距离限制项后能够大幅度提高效率, 减少计算所需要的迭代次数, 从而减少计算时间。尤其对于异质性较强的地物类别, 本文提出的分割方法其精度显著高于传统方法。

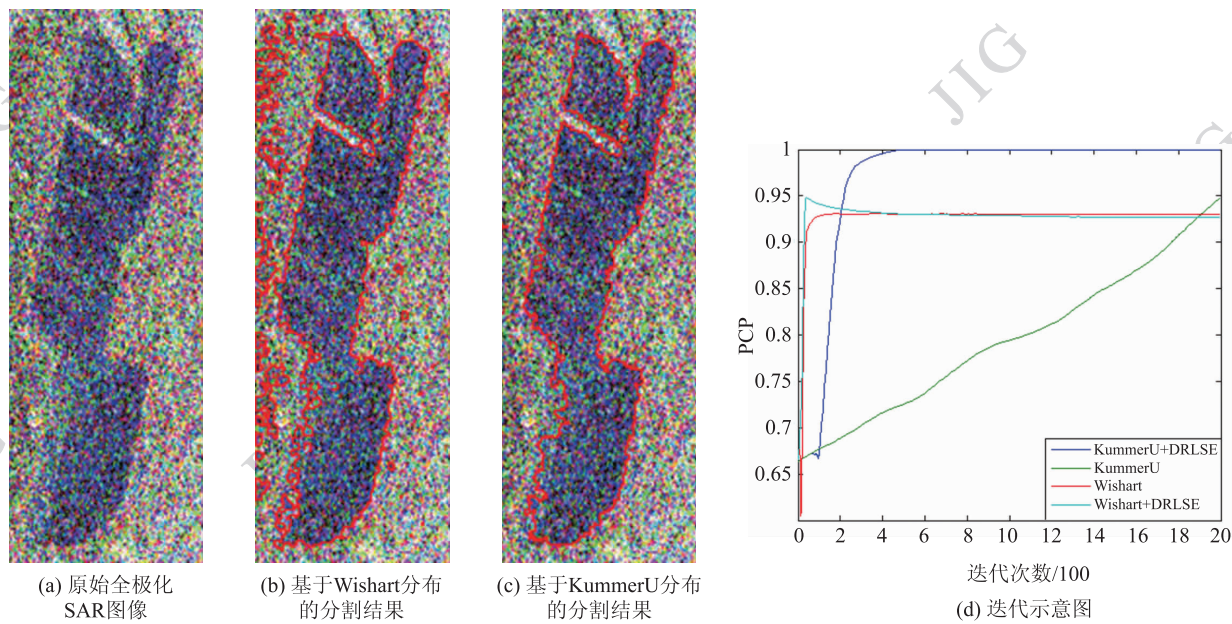


图5 根河实验区 SAR 图像分割结果及迭代示意图

Fig. 5 Genhe test site SAR image with its segmentation results and iterative diagram

表 1 实验分割结果的 PCP 值
Table 1 The PCP of segmentation experiment results

实验名称	Wishart		KummerU		Wishart + DRLSE		KummerU + DRLSE	
	精度/%	耗时/min	精度/%	耗时/min	精度/%	耗时/min	精度/%	耗时/min
仿真 SAR	97.35	3.5	98.57	25.3	97.88	2.8	98.61	4.8
Roberpfaffenhafen-ESAR	78.21	5.2	98.39	39.4	78.66	3.7	98.82	6.8
根河-Radarsat-2	92.84	4.4	99.13	30.7	92.68	3.2	99.52	5.9

3 结 论

本文提出了基于 KummerU 分布的高分辨率极化 SAR 图像分割方法,即针对极化 SAR 图像,使用 KummerU 分布建模,并结合水平集方法,得出了各个区域均服从独立的 KummerU 分布假设下的能量泛函,通过最小化该能量泛函得到了曲线演化的偏微分方程。由于 KummerU 分布对各种场景下的极化 SAR 图像数据均有较强的拟合能力,尤其是针对高分辨率极化 SAR 图像,其取得的分割效果较传统分割方法优势明显,分割整体精度均在 95% 以上。在仿真全极化,真实全极化 SAR 图像数据的分割实验中验证了本文方法的有效性和适应性。

与已有的水平集极化 SAR 图像分割方法相比,该方法可以对噪声发育完全或噪声发育不完全的图

像都能取得良好的分割效果,同时使用了区域竞争策略,将多类型地物分割为多个区域,使分割不仅仅局限于目标和背景的分离,从而完成对图像中多类地物的准确分割。此外,在水平集函数的约束项中,添加了距离限制项,避免水平集函数重新初始化的同时减少迭代次数,提高了分割效率。

参考文献 (References)

[1] Li C M, Xu C, Gui C. Level set evolution without re-initialization: a new variational formulation [C] // Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, CA, USA: IEEE, 2005: 430-436. [DOI:10. 1109/CVPR. 2005. 213]

[2] Ayed I B, Mitiche A, Belhadj Z. Multiregion level-set partitioning of synthetic aperture radar images [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27 (5) : 793-800. [DOI: 10. 1109/TPAMI. 2005. 106]

- [3] Ayed I B, Mitiche A. Polarimetric image segmentation via maximum-likelihood approximation and efficient multiphase level-sets [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28 (9) : 1493-1500. [DOI: 10. 1109/TPAMI. 2006. 191]
- [4] Ganta R R, Zaheeruddin S, Baddiri N. Segmentation of oil spill images with illumination-reflectance based adaptive level set model[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2012, 5 (5) : 1394-1402. [DOI: 10. 1109/JSTARS. 2012. 2201249]
- [5] Kim K, Shan J. Building roof modeling from airborne laser scanning data based on level set approach[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2011, 66 (4) : 484-497. [DOI:10. 1016/j. isprsjprs. 2011. 02. 007]
- [6] Feng J, Cao Z, Pi Y M. Variational SAR image segmentation based on the G0 model and an augmented Lagrangian method [J]. Progress in Electromagnetics Research B, 2012, 39:393-409. [DOI:10. 2528/PIERB12021607].
- [7] Li C M, Huang R, Ding Z. A level set method for image segmentation in the presence of intensity inhomogeneities with application to MRI [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2011, 20(7) : 2007-2016. [DOI: 10. 1109/TIP. 2011. 2146190]
- [8] Bombrun L, Vasile G, Gay M. Hierarchical segmentation of polarimetric SAR images using heterogeneous clutter models [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49(2) : 726-737. [DOI: 10. 1109/TGRS. 2010. 2060730]
- [9] Tison C, Nicolas J M, Tupin F. A new statistical model for Markovian classification of urban areas in high-resolution SAR images [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2004, 42 (10) : 2046-2057. [DOI: 10. 1109/TGRS. 2004. 834630]
- [10] Galland F, Nicolas J M, Sportouche H. Unsupervised synthetic aperture radar image segmentation using Fisher distributions [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2009, 47(8) : 2966-2972. [DOI: 10. 1109/TGRS. 2009. 2014364]
- [11] Mansouri A R, Mitiche A, Vázquez C. Multiregion competition: a level set extension of region competition to multiple region image partitioning [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2006, 101(3) : 137-150. [DOI: 10. 1016/j. cviu. 2005. 07. 008]
- [12] Sui H G, Xu C, Liu J. A novel multi-scale level set method for SAR image segmentation based on a statistical model [J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(17) : 5600-5614. [DOI: 10. 1080/01431161. 2012. 666814]