





第19卷第6期（总第218期）

2014年6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

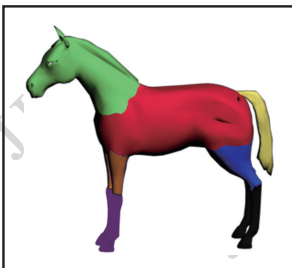
国内定价 50.00元



帧内复制粘贴视频伪造的盲检测(第825页)



基于流形学习的人体动作识别(第914页)



层次结构导向下的动画角色模型分割与标记(第955页)

综述

虹膜图像质量评价综述

李星光, 孙哲南, 谭铁牛

0813

图像处理和编码

帧内复制粘贴视频伪造的盲检测

杜振龙, 焦丽鑫, 李晓丽, 郭延文, 杨小健

0825

破损区域分块划分的图像修复

翟东海, 鱼江, 段维夏, 肖杰

0835

分布式视频编码中相关噪声分布的非参数估计

胡晓飞, 朱秀昌

0843

分数阶原始对偶去噪模型及其数值算法

田丹, 薛定宇, 杨雅婕

0852

结合感知特征和自然场景统计的无参考图像质量评价

贾惠珍, 孙权森, 王同罕

0859

图像置乱度评估的层次分析法

曹光辉, 胡凯, 张兴

0868

图像分析和识别

结合目标预测位置的压缩跟踪

罗会兰, 钟宝康, 孔繁胜

0875

标牌粘连字符自适应定位分割重建识别

洪涛, 梁伟建, 卢玉凤

0886

结合色度和纹理不变性的运动阴影检测

殷保才, 刘羽, 汪增福

0896

仿射不变的自适应局部线性嵌入

顾播宇, 孙俊喜, 李洪祚, 刘广文, 曹永刚

0906

基于流形学习的人体动作识别

王鑫, 沃波海, 管秋, 陈胜勇

0914

图像理解和计算机视觉

基于压缩感知理论的3维人脸快速重建

周大可, 吴子扬, 杨欣

0924

压缩感知跟踪中的特征选择与目标模型更新

石武祯, 宁纪锋, 颜永丰

0932

高动态场景的图像融合优化和实时应用

范逵, 周晓波

0940

计算机图形学

真实图像转换的水墨图像绘制模拟

陈添丁, 金炜炜, 陈英旦, 吴涤

0946

层次结构导向下的动画角色模型分割与标记

李琳, 陶涛, 刘晓平

0955

遥感图像处理

静止卫星图像热带气旋云系自动识别

耿晓庆, 李紫薇, 杨晓峰

0964

非下采样Contourlet域融合和参数化内核图割的SAR图像无监督水灾变化检测

李青松, 覃锡忠, 贾振红, 杨杰, 胡英杰

0971

地理信息技术

描述定性方向关系的复合表达模型

王中辉, 杨艳春

0979

CONTENTS

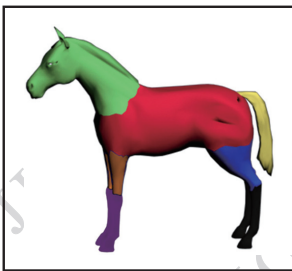
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Intraframe copy-paste forgery video blind detection based on dense SIFT flow(P825)



Human action recognition based on manifold learning(P914)



Animation character model segmentation and labeling approach under the guidance of hierarchical structures(P955)

Review

- Overview of iris image quality-assessment
Li Xingguang, Sun Zhenan, Tan Tieniu 0813

Image Processing and Coding

- Intraframe copy-paste forgery video blind detection based on dense SIFT flow
Du Zhenlong, Jiao Lixin, Li Xiaoli, Guo Yanwen, Yang Xiaojian 0825
- Image inpainting algorithm based on partition block of damaged region
Zhai Donghai, Yu Jiang, Duan Weixia, Xiao Jie 0835
- Non-parametric estimation for correlation noise distribution in distributed video coding
Hu Xiaofei, Zhu Xiuchang 0843
- Fractional-order primal-dual model and numerical algorithm for denoising
Tian Dan, Xue Dingyu, Yang Yajie 0852
- Blind image quality assessment based on perceptual features and natural scene statistics
Jia Huizhen, Sun Quansen, Wang Tonghan 0859
- Image scrambling degree evaluation based on analytic hierarchy process
Cao Guanghui, Hu Kai, Zhang Xing 0868

Image Analysis and Recognition

- Object tracking algorithm by combining the predicted target position with compressive tracking
Luo Huilan, Zhong Baokang, Kong Fansheng 0875
- Merged characters segmentation reconstruction and recognition of labels based on adaptive location
Hong Tao, Liang Weijian, Lu Yufeng 0886
- Moving shadow detection by combining chromaticity and texture invariance
Yin Baocai, Liu Yu, Wang Zengfu 0896
- Affine invariant adaptive locally linear embedding
Gu Boyu, Sun Junxi, Li Hongzuo, Liu Guangwen, Cao Yonggang 0906
- Human action recognition based on manifold learning
Wang Xin, Wo Bohai, Guan Qiu, Chen Shengyong 0914

Image Understanding and Computer Vision

- Fast 3D face reconstruction based on compressed sensing
Zhou Dake, Wu Ziyang, Yang Xin 0924
- Feature selection and target model updating in compressive tracking
Shi Wuzhen, Ning Jifeng, Yan Yongfeng 0932
- The optimization of image fusion and real-time application for HDR scenarios
Fan Kui, Zhou Xiaobo 0940

Computer Graphics

- Rendering simulation of real-image converting into chinese ink painting
Chen Tianding, Jin Weiwei, Chen Yingdan, Wu Di 0946
- Animation character model segmentation and labeling approach under the guidance of hierarchical structures
Li Lin, Tao Tao, Liu Xiaoping 0955

Remote Sensing Image Processing

- Tropical cyclone auto-recognition from stationary satellite imagery
Geng Xiaoqing, Li Ziwei, Yang Xiaofeng 0964
- Unsupervised detection of flood changes with SAR images combining nonsubsampling Contourlet domain fusion and parametric kernel graph cuts
Li Qingsong, Qin Xizhong, Jia Zhenghong, Yang Jie, Hu Raphael 0971

Geoinformatics

- Compound model for describing direction relations qualitatively
Wang Zhonghui, Yang Yanchun 0979

中图法分类号: TP751.1 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2014)06-0971-08

论文引用格式: Li Q S, Qin X Z, Jia Z H, Yang J, Hu R. Unsupervised detection of flood changes with SAR images combining nonsubsampling Contourlet domain fusion and parametric kernel graph cuts[J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(6): 971-978. [李青松, 覃锡忠, 贾振红, 杨杰, 胡英杰. 非下采样 Contourlet 域融合和参数化内核图割的 SAR 图像无监督水灾变化检测[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(6): 971-978.] [DOI: 10.11834/jig.20140619]

非下采样 Contourlet 域融合和参数化内核图割的 SAR 图像无监督水灾变化检测

李青松¹, 覃锡忠¹, 贾振红¹, 杨杰², 胡英杰³

1. 新疆大学信息科学与工程学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 上海交通大学图像处理和模式识别研究所, 上海 200240;
 3. 新西兰奥克兰理工大学知识工程与开发研究所, 新西兰奥克兰 1020

摘要: 目的 基于非下采样 Contourlet 变换(NSCT)融合策略可以有效地抑制背景信息增强变化区域的信息。但是融合后图像具有复杂的统计特征,传统的基于统计特征的变化检测难以实现。基于参数化内核图割的遥感图像分割不受统计特征的限制。为此提出了一种基于 NSCT 融合和参数化内核图割的 SAR 图像无监督水灾变化检测新算法。方法 将均值比差异图像和对数比差异图像采用基于 NSCT 的融合算法进行融合,将融合后的差异图像采用参数化内核图割算法进行前景/背景的分割,得到最终的变化检测结果。结果 融合后的差异图像利用前两种差异图像的互补信息提高了变化检测精度。算法不受统计模型限制,不需要先验知识,适用性强。结论 实验结果表明,本文算法的检测精度优于传统的变化检测方法。

关键词: NSCT 融合;参数化内核;图割;变化检测;SAR 图像

Unsupervised detection of flood changes with SAR images combining nonsubsampling Contourlet domain fusion and parametric kernel graph cuts

Li Qingsong¹, Qin Xizhong¹, Jia Zhenghong¹, Yang Jie², Hu Raphael³

1. College of Information Science and Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;
 2. Institute of Image Processing and Pattern Recognition, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;
 3. Knowledge Engineering and Discovery Research Institute, Auckland University of Technology, Auckland 1020, New Zealand

Abstract: **Objective** Fusion strategies based on a nonsubsampling contourlet transform (NSCT) are able to restrain the background information and enhance the information of changed regions in the fused difference image effectively. However the fused difference image has complex statistical characteristics, the conventional change detection based on statistical characteristics is difficult to achieve. An unsupervised detection for flood change algorithm in SAR image based on NSCT fusion and parametric kernel graph cuts is proposed in this paper. **Method** The difference images acquired by mean-ratio operation and log-ratio operation are integrated by the NSCT fusion algorithm, the fused difference image is divided into foreground and background to obtain the final change detection results by the parametric kernel graph cuts algorithm. **Result** Change detection accuracy of the fused difference image is improved by taking advantage of complementary information from mean-ratio and log-ratio images. The approach with strong applicability is distribution free, and does not need any prior

收稿日期:2013-07-01;修回日期:2013-12-30

基金项目:教育部促进与美大地区科研合作与高层次人才培养项目(20101595)

第一作者简介:李青松(1986—),男,2011年新疆大学信号与信息处理专业在读硕士研究生,主要研究方向为遥感图像处理。E-mail:

lantiang12@163.com

knowledge. **Conclusion** Experimental results show that the detection accuracy of the proposed algorithm is superior to the traditional change detection algorithm.

Key words: nonsampled Contourlet transform (NSCT) fusion; parametric kernel; graph cuts; change detection; SAR image

0 引言

变化检测是通过分析同一地理位置不同时间获取的遥感图像,来识别地表覆盖变化的过程^[1]。变化检测是遥感图像分析中重要的领域,它被广泛应用在多种领域,如土地利用监测、森林监测、农业调查、城市监测、自然灾害评估分析等^[2]。合成孔径雷达(SAR)可以全天时、全天候成像,且具有高分辨率和穿透性的优势,SAR图像得到了广泛地应用;然而SAR图像受自身固有的相干斑噪声的影响,与光学图像相比,增加了SAR图像变化检测的难度^[3]。变化检测方法分为有监督变化检测和无监督变化检测。有监督变化检测需要训练数据集来进行分类学习,往往实际中训练数据很难获得。无监督变化检测方法不需要任何先验知识,故无监督变化检测方法被更多地使用^[2,4]。

SAR图像变化检测的整体性能主要取决于差异图像的质量和分类方法的精度。对于遥感图像的差异图像,差值法和比值法是众所周知的求取方法。然而对于SAR图像,由于图像差值法不适合SAR图像的统计分布并且对配准误差不够健壮,在多时相SAR图像变化检测的研究领域,比值法被广泛地使用^[5]。由于对数比算法能够将乘性斑点噪声转变成加性噪声,采用了对数变换得到的差异图像的背景信息是相对比较平坦,在过去的10年里引起了广泛的关注^[6]。Inglada等人提出了一种对噪声有鲁棒性的均值比算法^[7]。该算法得到的差异图像中变化区域的信息能够和两时相SAR图像中的真实变化趋势相一致。这两种方法在SAR图像的变化检测中都得到了成功应用,然而仍存在一些缺点。对数比值运算压缩了差异图像的变化范围,具有增强低强度像素弱化高强度像素的特性,因此通过对数比法得到的差异图像中变化区域的信息无法在最大程度上反应真正的变化趋势^[8-9]。均值比法可能过多突出差异图像中低强度的像素的变化,造成差异图像中的背景模糊^[5]。特别是水灾评估分析中,水灾引起的变化信息存在大量弱变化区。为了解决以上提到的问题,充分利用均值比法和对数比法的

差异图像的互补信息,提出了一种基于非下采样Contourlet变换(NSCT)的融合算法生成差异图像。

从差异图像中提取变化区域是变化检测的另一个关键问题。经典的变化检测算法是通过确定阈值来获得,如Otsu、K&L、EM算法、基于Markov算法、基于广义高斯模型等方法^[5,10-12]。这些方法需要阈值的准确估计,要为差异图像中变化类和未变化类选择一个合适的概率统计模型。然而建模是比较困难和耗时的^[13]。并且来自差异图像中某一类的样本训练得到的模型往往不适用于图像中其他不同种类的像素,从而导致其应用前景受到很大的限制。Salah等人提出的参数化内核图割的多区域图像分割不受图像中不同种类像素的统计分布模型的限制,是一种灵活有效的图像分割方法^[14]。此外,该方法在不同类型的图像中得到成功应用,包括SAR图像、医学图像和自然图像,以及运动图像。本文利用参数化内核图割的多区域图像分割算法来分析融合后的差异图像。为了更好地分析水灾情况,最后提出了一种基于NSCT融合和参数化内核图割的SAR图像无监督水灾变化检测新算法。

1 基于NSCT融合和参数化内核图割的SAR图像变化检测

1.1 基于NSCT的图像融合

设 X_1 和 X_2 是在同一地理位置但不同时间获得的校准后的两幅SAR图像。 $X_1 = \{X_1(i, j), 1 < i < H, 1 < j < W\}$ 和 $X_2 = \{X_2(i, j), 1 < i < H, 1 < j < W\}$,图像大小是 $H \times W$ 。由上一节可知,用于融合的两幅源图像是对两时相SAR图像 X_1 和 X_2 分别进行均值比操作和对数比操作得到的差异图像。计算过程如下:

首先对 X_1 和 X_2 进行归一化的均值比操作生成均值比差异图像 X_m ,它可以被定义为

$$X_m(i, j) = 1 - \min\left(\frac{\mu_1(i, j)}{\mu_2(i, j)}, \frac{\mu_2(i, j)}{\mu_1(i, j)}\right) \quad (1)$$

式中, $\mu_1(i, j)$ 和 $\mu_2(i, j)$ 分别代表 X_1 和 X_2 中位于像素 (i, j) 处像素值邻域内的均值。

然后对 X_1 和 X_2 进行绝对值对数比操作生成对

数比差异图像 X_1 , 它可以被定义为

$$X_1(i, j) = \left| \ln \left(\frac{X_1(i, j)}{X_2(i, j)} \right) \right| = |\ln X_2(i, j) - \ln X_1(i, j)| \quad (2)$$

多尺度变换在基于像素级的融合技术中被广泛应用, 如 Wavelet、Curvelets、Contourlets 等^[5,8]。相比较而言, NSCT 具有较好的平移不变性和方向选择性^[15]。变化检测中差异图像融合策略的关键问题是能够抑制背景信息, 加强变化区域的信息。基于此, 提出一种基于 NSCT 的图像融合策略, 在 NSCT 域中低频子带代表轮廓特征, 可以显著地反映差异图像的变化区域。为了增强变化区域的梯度和边缘特征, 对低频子带的系数通过取均值操作进行融合。高频子带代表差异图像的突出特征 (如边缘和线条), 考虑到对数比图像的背景是比较平坦的, 为了抑制差异图像的背景信息, 对高频子带的系数采用最小局部能量规则进行融合来抑制背景的杂波^[5]。其主要步骤如下:

1) 分别对 X_m 和 X_l 进行 NSCT 变换得到相应的低频和高频系数, 即

$$\text{NSCT}(X_m) = \{c_m^{1,2}, c_m^{2,1}, c_m^{2,2}, \dots, c_m^{h,k}, a_m\} \quad (3)$$

$$\text{NSCT}(X_l) = \{c_l^{1,2}, c_l^{2,1}, c_l^{2,2}, \dots, c_l^{h,k}, a_l\} \quad (4)$$

式中, $c_m^{h,k}$ 是 X_m 的第 h 层, 第 k 方向的高频系数, 同时 a_m 是 X_m 的低频系数。 $c_l^{h,k}$ 是 X_l 的第 h 层, 第 k 方向的高频系数, 同时 a_l 是 X_l 的低频系数。

2) 采用图像融合规则分别对低频系数和高频系数进行计算, 即融合后的低频系数为

$$a_F = \frac{a_m + a_l}{2} \quad (5)$$

融合后的高频系数为

$$c_F^{h,k}(i, j) = \begin{cases} c_m^{h,k}(i, j) & E_m^{h,k}(i, j) < E_l^{h,k}(i, j) \\ c_l^{h,k}(i, j) & E_m^{h,k}(i, j) \geq E_l^{h,k}(i, j) \end{cases} \quad (6)$$

局部区域能量系数 $E^{h,k}(i, j)$ 为

$$E^{h,k}(i, j) = \sum_{q \in N_{i,j}} [c^{h,k}(q)]^2 \quad (7)$$

式中, $E^{h,k}(i, j)$ 代表第 h 层, 第 k 方向的 NSCT 系数在相应子带图像 (i, j) 处的邻域内的能量, $N_{i,j}$ 代表以点 (i, j) 为中心的邻域窗, 邻域窗的大小为 3×3 。 $c^{h,k}(q)$ 代表局部邻域窗内的第 q 个 NSCT 的高频系数。

3) 对融合后的低频系数 a_F 和高频系数 $c_F^{h,k}$ 进行 NSCT 逆变换得到融合的差异图像

$$D_F = R_{\text{NSCT}}(a_F, c_F^{h,k}) \quad (8)$$

由于在不同的分辨率水平上结合了对数比差异图像和均值比差异图像的信息, 融合后的差异图像的直方图概率统计模型可能比对数比差异图像的模式更复杂。基于阈值的变化检测方法受到差异图像像素值的统计模型的限制, 对于融合后的差异图像不再适用^[5]。本文采用参数化内核图割算法来处理基于 NSCT 融合的差异图像。

1.2 参数化内核图割

参数化内核图割算法是通过图像数据的内核映射研究多区域图割的图像分割技术。参数化内核图割算法不是寻找复杂的模型来解决一个非线性问题; 而是使用径向基 (RBF) 函数内核转换图像数据, 将一个非线性问题转换成一个线性问题。图像分割可以看成图像数据的空间受限聚类^[16]。内核映射的核函数 ϕ 将图像数据隐式地变换成适合基于分段常数模型的图割算法处理的高维数据, 将一个典型非线性问题变成一个简单的线性问题 (见图 1)^[14]。

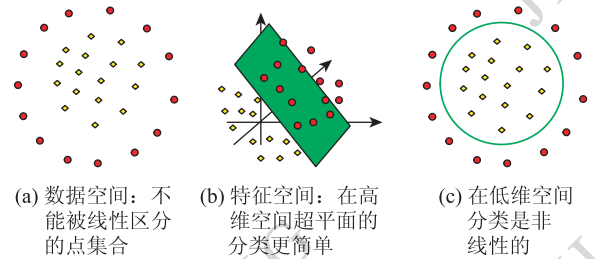


图 1 2 维空间映射成 3 维空间的分类

Fig. 1 Classification of two-dimensional space mapped into three-dimensional space

图割算法将图像分割看成标签分配的问题。设 $D: p \in \Omega \subset \mathbb{R}^2 \rightarrow D_p = D(p) \in I$ 是一个图像函数, 将图像 D 从一个位置数组 Ω 变换到光度计的变量空间 I 。设将图像 D 分割成 N_{reg} 个区域 R_l 。 $\{R_l\}_{l=1}^{N_{\text{reg}}}$ 。

图像分割也就是给每个像素在有限标签集 L 中分配一个标签 l 。区域 R_l 是标签为 l 的像素的集合, 即 $R_l = \{p \in \Omega \mid p \text{ 标签为 } l \text{ 的像素}\}$ 。设 $\phi(\cdot)$ 是一个从观察空间 I 到多维特征 J (映射空间) 的非线性映射。给定的标记给每个像素分配一个标签, 便将图像分成多个区域。每个区域有一个相同的标签 $R_l = \{p \in \Omega \mid \lambda(p) = l\}$, $1 \leq l \leq N_{\text{reg}}$ 。其中 λ 是一个函数。 λ 将图像的每一点分配到特定区域 $\lambda: p \in \Omega \rightarrow \lambda(p) \in L$ 。参数化内核图割算法的目标函数为^[14]

$$F_K(\{\mu_l\}, \lambda) = \sum_{l \in L} \sum_{p \in R_l} J_K(D_p, \mu_l) + \alpha \sum_{|p, q| \in N} r(\lambda(p), \lambda(q)) \quad (9)$$

式中, μ_l 是区域 R_l 的分段常数模型的参数 N 是一个邻域集, 包含所有成对的邻域像素。

$$\begin{aligned} J_K(D_p, \mu) &= \|\phi(D_p) - \phi(\mu)\|^2 = \\ &(\phi(D_p) - \phi(\mu))^T \cdot (\phi(D_p) - \phi(\mu)) = \\ &\phi(D_p)^T \phi(D_p) - \phi(\mu)^T \phi(D_p) - \\ &\phi(D_p)^T \phi(\mu) + \phi(\mu)^T \phi(\mu) = \\ &K(D_p, D_p) + K(\mu, \mu) - 2K(D_p, \mu) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\mu \in \{\mu_l\}_{1 \leq l \leq N_{\text{reg}}}$$

式中, $K(Y, Z)$ 是核函数, 且

$$K(Y, Z) = \phi(Y)^T \cdot \phi(Z), \forall (Y, Z) \in I^2 \quad (11)$$

$r(\lambda(p), \lambda(q))$ 是一个正则化函数, 即

$$r(\lambda(p), \lambda(q)) = \min(\beta^2, |\eta_{\lambda(p)} - \eta_{\lambda(q)}|^2) \quad (12)$$

式中, β 是一个常数^[14]。

参数化内核化图割算法共享了基于核映射的简单建模和图割优化的优点。目标函数通过原始数据(分段常数模型和保护边缘的平滑度)来计算变换后数据的偏差, 该算法由最小化目标函数实现。目标函数的最小化是通过两个连续的迭代步骤: 图割优化和用于更新区域参数的定点迭代。变化检测可以看成对差异图像的前景和背景的分割, 即分割成两个不同的区域(变化类和未变化类)。参数化内核图割算法不受变化类和未变化类分布的统计模型的限制, 在 SAR 图像的变化检测中有广泛应用前景^[14]。最后通过参数化内核图割算法将融合后的差异图像分割成两个区域, 实现了 SAR 图像的变化检测。

2 实验结果及分析

2.1 实验数据描述

第 1 组 SAR 图像数据集是由 1999 年 4 月和 1999 年 5 月通过 ERS-2 获得的瑞士 Bern 地区的前后两时相 C 波段垂直极化的 SAR 图像组成, 如图 2 所示。两时相遥感图像分别为图 2(a)(b), 图像的大小均为 301×301 , 灰度级为 256。它们之间的变化主要是由于洪水灾害所致, 变化参考图如图 2(c) 所示。

第 2 组 SAR 图像数据集是由加拿大 Ottawa 地区 1997 年 5 月和 1997 年 8 月的 Radarsat 影像组成, 如图 3 所示。两时相遥感图像分别为图 3(a)

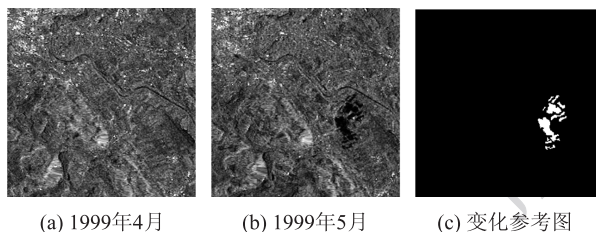


图 2 第 1 组数据的两时相遥感图像和变化参考图

Fig. 2 The two-phase remote sensing images and the reference change map of first data

(b), 两幅图像的大小均为 290×350 , 灰度级为 256。两时相 SAR 图像中变化部分主要由于雨季来临洪水淹没了陆地造成, 变化参考图如图 3(c) 所示。

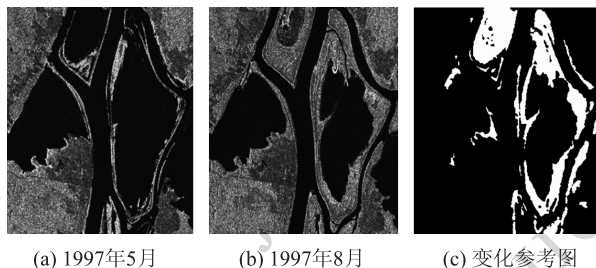


图 3 第 2 组数据的两时相遥感图像和变化参考图

Fig. 3 The two-phase remote sensing images and the reference change map of second data

为了验证本文提出的 SAR 图像变化检测方法的有效性和两个不同的预期目标, 对以上两组遥感数据进行了实验。本文 NSCT 变换将图像分解成 3 层, 第 1 层方向数为 2, 第 2 层方向数为 4, 第 3 层方向数为 8。实验 1 验证基于 NSCT 融合的差异图像在 SAR 图像变化检测中的有效性和优势。首先对两时相 SAR 图像进行处理得到均值比差异图像, 对数比差异图像和 NSCT 融合的差异图像。然后采用基于参数化内核图割算法分别对均值比差异图像、对数比差异图像和基于 NSCT 融合的差异图像进行前景/背景的分割, 即得到最终的变化检测结果。最后对变化检测结果进行评价分析。实验 2 是将本文算法和其他算法进行比较, 验证本文算法的有效性。比较算法包括多时相卫星影像的多尺度变化检测 (MCD)^[17]、基于非采样 Contourlets 变换和核模糊 C-均值聚类的多时相遥感图像变化检测 (N_KFCM)^[18]、基于图像融合和模糊聚类的 SAR 图像变化检测 (IF_RFLICM)^[5]。

2.2 精度评估方法

为了定量分析变化检测结果, 采用文献[19]提

出的漏检数、虚警数、漏检率、虚警率、Kappa 和文献[20]提出的正确分类率(PCC)等评价标准对变化检测结果进行评价。

- 1) 真实变化像素被检测为变化像素的数目 N_p 。
- 2) 真实变化像素被检测为未变化像素的数目(漏检数) N_F 。
- 3) 真实未变化像素被检测为未变化像素的数目 N_T 。
- 4) 真实未变化像素被检测为变化像素的数目(虚警数) P_F 。

各个评价指标计算如下:

漏检率为

$$P_{Fr} = \frac{N_F}{P_T + N_F + P_F} \times 100\% \quad (13)$$

虚警率为

$$P_{Ur} = \frac{P_F}{P_T + N_F + P_F} \times 100\% \quad (14)$$

正确分类率为

$$P_{PCC} = \frac{P_T + N_T}{P_T + P_F + N_T + N_F} \quad (15)$$

Kappa 系数为

$$Kappa = \frac{pr_0 - pr_c}{pr_c} \quad (16)$$

式中, pr_0 是观察一致率, pr_c 是期望一致率, 总像素数为 N , 则

$$pr_0 = \frac{N - N_F - P_F}{N} \quad (17)$$

$$pr_c = \frac{P_T + N_F}{N} \times \frac{P_T + P_F}{N} \times \frac{N_T + P_F}{N} \times \frac{N_T + N_F}{N} \quad (18)$$

2.3 验证基于 NSCT 融合算法的有效性

分别对第 1 组和第 2 组 SAR 图像数据进行均值比、对数比和图像融合操作得到的差异图像结果见图 4。由图 4(a)可知, 均值比差异图像的变化区域信息比较丰富, 但是背景中有很多斑点。由图 4(b)可知对数比差异图像能有效地抑制背景信息, 但也造成变化区域信息的损失。融合后的差异图像不仅准确地反映变化区域的信息而且对背景有一定程度的抑制, 见图 4(c)。

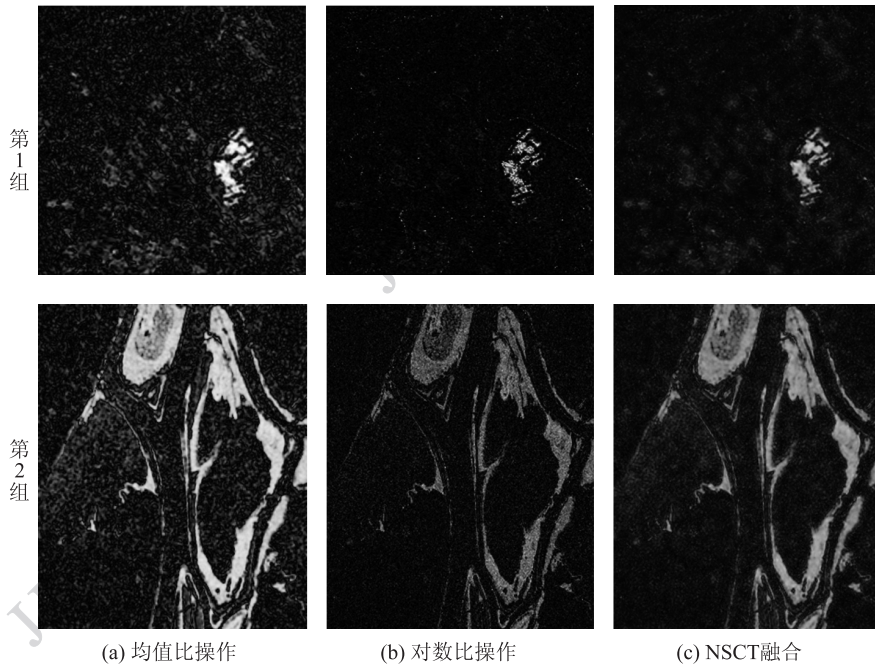


图 4 两组两时相 SAR 图像的差异图像

Fig. 4 The difference image of two two-phase SAR images

为了比较均值比, 对数比和基于 NSCT 融合的差异图像对变化检测精度的影响, 分别对第 1 组和第 2 组各自的 3 幅差异图像进行基于参数化内核图

割算法的分割, 得到的结果图见图 5。对上述结果进行定量的评价分析如表 1 所示。

为了更好地理解不同类型差异图像的性能, 对

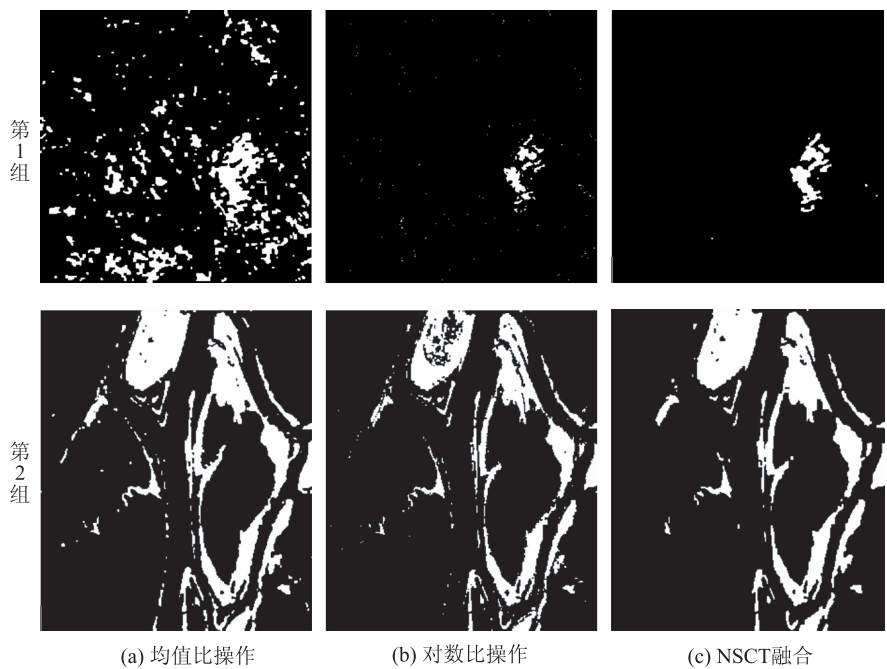


图5 两组两时相 SAR 图像不同类型差异图像的变化检测结果

Fig. 5 Change detection results of different types of difference images of two two-phase SAR images

表 1 不同类型差异图像的变化检测评价结果

Table 1 Change detection results of different types of difference images

SAR 图像数据集	方法	漏检数	漏检率/%	虚警数	虚警率/%	PCC	Kappa
第 1 组	均值比	9	0.08	9 039	88.67	0.900 1	0.183 4
	对数比	311	23.47	170	12.83	0.994 7	0.775 6
	NSCT 融合	84	5.9	268	18.83	0.996 1	0.856 9
第 2 组	均值比	211	1.17	1 953	10.85	0.978 7	0.923 3
	对数比	2 486	14.97	560	3.37	0.970 0	0.881 5
	NSCT 融合	915	5.51	568	3.24	0.985 4	0.944 0

图5 进行视觉上的分析。由于对斑点噪声敏感,均值比差异图像的变化检测结果图5(a)中包含很多斑点。由于对数变换对斑点噪声有抑制作用,对数比差异图像的变化检测结果图5(b)中斑点相对较少;然而由于对数变换减弱高强度像素,导致变化区域信息的丢失。和变化参考图比较,基于 NSCT 融合的差异图像变化检测结果更接近真实变化信息。从表1可以看出,由于均值比算法结果图中含有较多的斑点,导致均值比算法结果的虚警率大于对数比算法和 NSCT 融合算法。由于对数变换导致变化区域信息的丢失,对数比算法的漏检率最大。基于 NSCT 融合的变化检测算法的 PCC 和 Kappa 最大。

通过以上分析,本文算法中的融合策略可以有效的减少变化检测结果的错误。

2.4 验证本文算法的有效性

将本文算法和 MCD 算法、N_KFCM 算法、IF_RFLICM 算法进行比较,定性分析结果见图6。定量分析结果如表2所示。从图6可以知道,由于斑点噪声的影响,MCD 算法和 N_KFCM 算法的结果中有很多斑点。IF_RFLICM 算法和本文算法的结果斑点很少,更接近真实的变化结果。本文算法对斑点噪声有较好鲁棒性。由表2可知,本文算法明显优于 MCD 算法和 N_KFCM 算法,和 IF_RFLICM 算法相比本文算法略有提高。

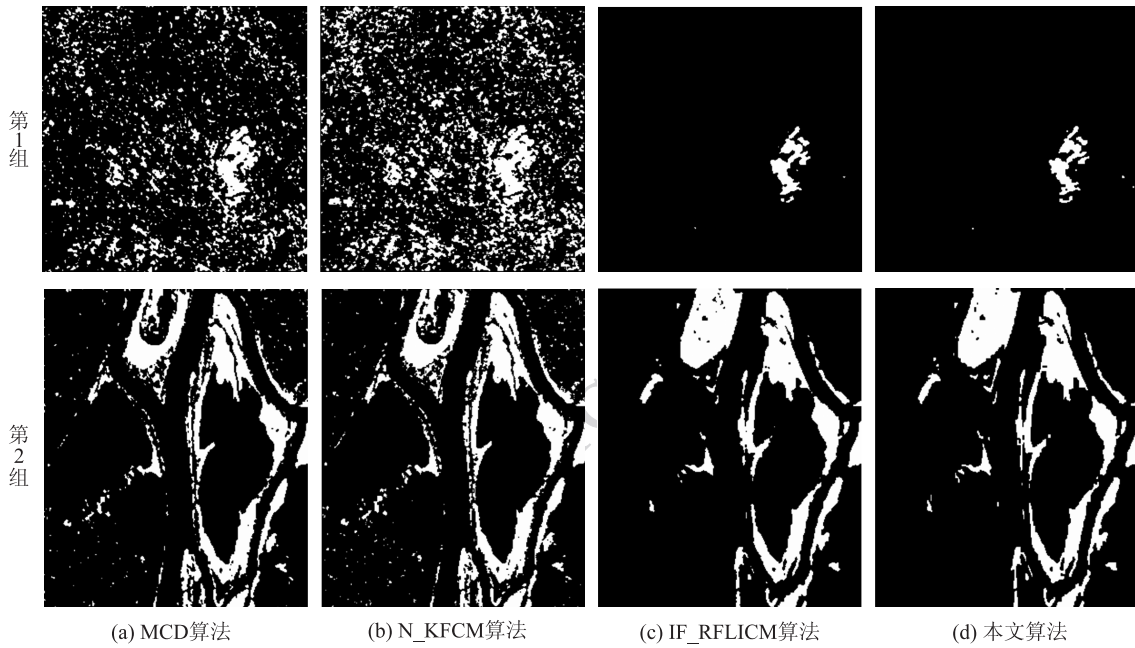


图 6 两组两时相 SAR 图像变化检测结果

Fig. 6 Change detection results of the two groups two-phase SAR images

表 2 不同算法的变化检测评价结果

Table 2 Change detection evaluation results of different algorithms

SAR 图像数据集	算法	漏检数	漏检率/%	虚警数	虚警率/%	PCC	Kappa
第 1 组	MCD	45	0.34	12 044	91.25	0.866 6	0.134 9
	N-KFCM	2	0.009	19 613	94.44	0.783 4	0.083
	IF-RFLICM	98	6.69	310	21.16	0.995 5	0.836 0
	本文	96	6.80	257	18.20	0.996 1	0.855 2
第 2 组	MCD	3 561	17.82	3 930	19.67	0.926 2	0.725 4
	N-KFCM	2 982	14.92	3 933	19.68	0.931 9	0.750 1
	IF-RFLICM	935	5.60	633	3.79	0.984 6	0.941 5
	本文	922	5.56	524	3.16	0.985 8	0.945 9

3 结 论

本文研究了差异图像的融合规则,充分利用均值比差异图像和对数比差异图像的互补信息来抑制背景信息增强变化区域的信息;针对融合的差异图像数据模型比较复杂,最后通过参数化内核图割算法,实现了 SAR 图像无监督水灾变化检测。基于 NSCT 的融合算法整合了均值比操作和对数比操作的优点,获得了较好的检测性能。本文算法不仅可以获得较好的检测精度而且对斑点噪声有一定的鲁棒性。但是由于基于 NSCT 的融合算法比较耗时,

算法效率稍低。因此,后续工作应研究新的多尺度融合算法,以提高本文算法效率。

参考文献 (References)

[1] Radke R, Andra S, Al-Kofahi O, et al. Image chang detection algorithms: a systematic survey [J]. IEEE Transactions on Image Process, 2005, 14 (3) : 294-307.

[2] Mishra N, Ghosh S, Ghosh A. Fuzzy clustering algorithms incorporating local information for change detection in remotely sensed images [J]. Applied Soft Computing, 2012, 12: 2683-2692.

[3] Wan H L, Jiao L C, Xin F F. Interactive segmentation technique and decision-level fusion based change detection for SAR images

- [J]. *Acta Geodaetica et Carto Graphica Sinica*, 2012, 41(1): 74-80. [万红林, 焦李成, 辛芳芳. 基于交互式分割技术和决策级融合的 SAR 图像变化检测[J]. *测绘学报*, 2012, 41(1): 74-80.]
- [4] Michele V, Devis T, Gustavo C, et al. Unsupervised change detection With kernels [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2012, 9(6): 1026-1030.
- [5] Gong M G, Zhou Z Q, Ma J J. Change detection in synthetic aperture radar images based on image fusion and fuzzy clustering [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2012, 21(4): 2141-2151.
- [6] Kuruoglu E, Zerubia J. Modeling SAR images with a generalization of the Rayleigh distribution [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, 13(4): 527-533.
- [7] Inglada J, Mercier G. A new statistical similarity measure for change detection in multitemporal SAR images and its extension to multiscale change analysis [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2007, 45(5): 1432-1445.
- [8] Ma J J, Gong M G, Zhou Z Q. Wavelet fusion on ratio images for change detection in SAR images [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2012, 9(6): 1122-1126.
- [9] Kuruoglu E E, Zerubia J. Modeling SAR images with a generalization of the Rayleigh distribution [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2004, 13(4): 527-533.
- [10] Ma G R, Li P X, Qin Q Q. Based on fusion and GGM change detection approach of remote sensing images [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(6): 847-853. [马国锐, 李平湘, 秦前清. 基于融合和广义高斯模型的遥感影像变化检测[J]. *遥感学报*, 2006, 10(6): 847-853.]
- [11] Chen Y, Cao Z G. An improved MRF-based change detection approach for multitemporal remote sensing imagery [J]. *Signal Processing*, 2012, 93(1): 163-175.
- [12] Wang F, Wu Y, Zhang Q, et al. Unsupervised change detection on SAR images using triplet markov field model [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2013, 10(4): 697-701.
- [13] Zhu S C. Statistical modeling and conceptualization of visual patterns [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(6): 691-712.
- [14] Salah M B, Mitiche A, Ismail B A. Multiregion image segmentation by parametric kernel graph cuts [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2011, 20(2): 545-557.
- [15] Da Cunha A L, Zhou J, Do M N. The nonsubsampled contourlet transform: theory, design, and applications [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, 15(10): 3089-3101.
- [16] Vazquez C, Mitiche A, Ayed I B. Image segmentation as regularized clustering: a fully global curve evolution method [J]. *IEEE International Conference on Image Processing*, 2004, 5: 3467-3470.
- [17] Celik T. Multiscale change detection in multitemporal satellite images [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2009, 6(4): 820-840.
- [18] Wu C, Wu Y Q. Multitemporal images change detection using nonsubsampled contourlet transform and kernel fuzzy c-mean clustering [C]//*International Symposium on Intelligence Information Processing and Trusted Computing*. Hubei: IEEE, 2011: 96-99.
- [19] Xin F F. Change detection in remote sensing imagery based on fisher classifier and computational intelligence [D]. Xi'an: Xi-dian University, 2011. [辛芳芳. 基于 Fisher 分类器和计算智能的遥感图像变化检测[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.]
- [20] Rosin P L, Ioannidis E. Evaluation of global image thresholding for change detection [J]. *Pattern Recognition Letters*, 2003, 24(14): 2345-2356.