

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **5**
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5月 第17卷 第5期(总第193期)

目次

综述

- 中国图像工程:2011 章毓晋(603)
- 植物叶片表面质感建模与真实感绘制研究进展 田原,赵春江,陆声链,郭新宇(613)

图像处理和编码

- 高位有效位概率算术解码的图像密写改进算法 马丽红,吕先明,高小满(621)
- 滑动平均和改进权重函数的快速非局部平均图像去噪算法 熊波,尹周平(628)
- 提升小波的同态滤波在图像烟雾弱化中的应用 范有臣,李迎春,韩意,张来线(635)

图像分析和识别

- 基于彩色模型的重构标记分水岭分割算法 张桂梅,周明明,马珂(641)
- 均衡化特征匹配的非刚体细胞形态跟踪 陈莹,艾春璐(648)
- 图像斑状特征位置与尺寸的自动检测 王志衡,刘红敏(656)
- 改进极化白化滤波的边缘检测 邓少平,张继贤,李平湘,黄国满(665)
- 联合特征在行人检测中的应用 杨阳,杨静宇(671)
- Gabor 相位特征的人脸光照不变量提取 范春年,张福炎(676)

图像理解和计算机视觉

- 保持几何特征的自适应弹性二次曲线模型 蒋建国,郝世杰,郭艳蓉,詹曙,李鸿(682)
- 局部颜色映射的彩色夜视算法 钱小燕,张天慈,王帮峰,黄圣国(689)
- 结合分支定界法和线性规划的摄像机位姿估计 马文娟(694)

金字塔评分改进主方向模板匹配的实时目标检索 洪朝群,朱建科,李娜,卜佳俊,陈纯(700)

计算机图形学

类曲率在曲线相似性判定中的应用 于昊,赵乃良,陈小雕(707)

虚拟现实与增强现实

人机系统中视域评估的可视化 李倩,吉晓民,林文周(715)

遥感图像处理

小波方向子带偏微分方程遥感图像去噪 王相海,李放,王爽(721)

遥感图像理想均衡化及图像质量定量评价 孟天佑,汪云甲(729)

地理信息技术

点要素扇形缓冲区的设计与应用 侯景伟,孔云峰,张迪,吕可文(740)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996年创刊)

第17卷 第5期

2012年5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:010-68407995 010-82614429

网 址:www.cjig.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. 5 May 2012

Contents

Review

- Image engineering in China: 2011 Zhang Yujin (603)
- Advances in appearance modeling and photorealistic rendering of plant leaves
..... Tian Yuan, Zhao Chunjiang, Lu Shenglian, Guo Xinyu (613)

Image Processing and Coding

- Most significant bits probability arithmetic decoding for improved image steganography
..... Ma Lihong, Lv Xianming, Gao Xiaoman (621)
- Fast non-local means for image de-noising on moving average and modified weight function Xiong Bo, Yin Zhouping (628)
- Weakening of smoke for homomorphic filtering Fan Youchen, Li Yingchun, Han Yi, Zhang Laixian (635)

Image Analysis and Recognition

- Image segmentation algorithm for reconstruction labeling watershed in color space Zhang Guimei, Zhou Mingming, Ma Ke (641)
- Non-rigid cell contour tracking method for balanced feature matching Chen Ying, Ai Chunlu (648)
- Automatically detecting position and size of blob features in images Wang Zhiheng, Liu Hongmin (656)
- Improved polarimetric whitening filter for edge detection Deng Shaoping, Zhang Jixian, Li Pingxiang, Huang Guoman (665)
- Pedestrian detection based on compound feature Yang Yang, Yang Jingyu (671)
- Illumination invariant extraction on Gabor phase Fan Chunnian, Zhang Fuyan (676)

Image Understanding and Computer Vision

- Adaptive geometrical-feature-preserving elastic quadratic wire model
..... Jiang Jianguo, Hao Shijie, Guo Yanrong, Zhan Shu, Li Hong (682)
- Color night vision algorithm based on local color mapping ... Qian Xiaoyan, Zhang Tianci, Wang Bangfeng, Huang Shengguo (689)
- Camera pose estimation using branch and bound method with linear programming Ma Wenjuan (694)
- Real-time object retrieval with dominant orientation template matching improved by pyramid scoring
..... Hong Chaoqun, Zhu Jianke, Li Na, Bu Jiajun, Chen Chun (700)

Computer Graphics

- Quasi-curvature and its application in similarity measurement of curves
..... Yu Hao, Zhao Nailiang, Chen Xiaodiao (707)

Virtual Reality and Augmented Reality

- Visualization of the visual range assessment in man-machine system Li Qian, Ji Xiaomin, Lin Wenzhou (715)

Remote Sensing Image Processing

- Remote sensing image de-noising on partial differential equation in wavelet directional subband
..... Wang Xianghai, Li Fang, Wang Shuang (721)
- Ideal equalization of remote sensing images and quantitative assessment of image quality Meng Tianyou, Wang Yunjia (729)

Geoinformatics

- Design and applications of sector buffers for point feature
..... Hou Jingwei, Kong Yunfeng, Zhang Di, Lv Kewen (740)

中图分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)05-0665-06

论文引用格式: 邓少平, 张继贤, 李平湘, 黄国满. 改进极化白化滤波的边缘检测[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(5): 665-670

改进极化白化滤波的边缘检测

邓少平^{1,2}, 张继贤², 李平湘¹, 黄国满²

1. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 武汉 430079; 2. 中国测绘科学研究院, 北京 100830

摘要: 针对 SAR 影像边缘检测受斑点噪声影响严重和极化信息利用不充分的问题, 用滑动模板边缘两侧目标的协方差矩阵代替了极化白化滤波中杂波背景与窗口中心的协方差矩阵, 提出一种基于改进极化白化滤波的边缘检测新方法, 充分利用了极化通道间的相关性, 在有效抑制斑点噪声的同时, 提高了极化信息的利用率。模拟和真实极化影像的实验验证了新方法的有效性。

关键词: 合成孔径雷达; 极化白化滤波; 边缘检测; 斑点噪声

Improved polarimetric whitening filter for edge detection

Deng Shaoping^{1,2}, Zhang Jixian², Li Pingxiang¹, Huang Guoman²

1. State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China;
2. Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100830, China

Abstract: A new edge detector based on an improved polarimetric whitening filter (PWF) for polarimetric synthetic aperture radar (SAR) images is proposed, aiming at a better usage of polarimetric information and reducing the speckle noise. The covariance matrices of the background and the center in PWF are replaced by those at both sides of the moving edge template. Polarimetric information including complex correlation between different polarizations is better utilized while speckle is suppressed at the same time. The new method is demonstrated using simulated and real polarimetric SAR data.

Key words: synthetic aperture radar; polarimetric whitening filter; edge detection; speckle

0 引言

高分辨率合成孔径雷达(SAR)包含丰富的边缘信息, 然而固有的斑点噪声增加了边缘提取难度^[1]。近年极化 SAR 技术取得了很大进展, 极化 SAR 影像逐步具有了高分辨率特性。虽然当前边缘检测算法大部分针对单极化影像^[2], 但极化 SAR 边缘检测也已展开^[3-4], 大致可分为两类: 1) 转换为单通道影像如主成分变换第一分量, 然后采用单极化强度影像比值算子进行边缘检测; 2) 先对多个极

化通道分别检测边缘, 再融合结果, 如求和

$$E_F = E_1 + E_2 + E_3 \quad (1)$$

式中 $E_i, i=1, 2, 3$ 分别为第 i 通道的比值边缘强度。当 E_i 由比值法得到时, 式(1)亦称为矢量比值算子。

上述两类算法各通道均被当成不相关, 包含在协方差矩阵非对角元素中的相关系数、相位等信息被忽略, 丰富的极化信息尚未得到充分利用。针对边缘检测中极化信息利用率低的问题, 提出一种基于极化白化滤波(PWF)的 SAR 影像边缘检测新方法。

收稿日期: 2011-04-20; 修回日期: 2011-10-18

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)基金项目(2011AA120404); 国家自然科学基金项目(41071269)

第一作者简介: 邓少平(1984—), 男, 武汉大学摄影测量与遥感专业博士研究生, 主要研究方向极化 SAR 影像处理与解译。E-mail: dsp410327@yahoo.com.cn

1 极化白化滤波

1.1 极化白化滤波原理

PWF 是一种基于乘性模型的相干斑抑制方法,最早由 Novak 在 1990 年提出^[5],使滤波后影像均值标准差之比最大,噪声抑制效果理论上可以达到 3 视,结果是单通道影像:

$$z = \begin{cases} \mathbf{y}^H \mathbf{C}^{-1} \mathbf{y} = \text{tr}(\mathbf{C}^{-1} \mathbf{y} \mathbf{y}^H) & \text{单视} \\ \text{tr}(\mathbf{C}^{-1} \mathbf{Y}) & \text{多视} \end{cases} \quad (2)$$

式中, \mathbf{y} 为散射矢量, $\mathbf{Y} = \langle \mathbf{y} \mathbf{y}^H \rangle$ 为观测协方差矩阵,上标 H 是矩阵共轭转置, $\text{tr}(\cdot)$ 是矩阵的迹, \mathbf{C} 表示相干斑噪声的协方差矩阵,常用协方差矩阵邻域均值估计。

1.2 PWF 效果分析

尽管提出 PWF 是为抑制斑点噪声,但使用滑窗得到的结果从视觉上更类似于边缘增强或目标增强的效果。如图 1(a) 为 L 波段极化影像总功率,图 1(b) 为 5×5 PWF 的结果,像素间相对辐射关系未保持,但边缘等细节信息得到增强。这与 Touzi 1994 年提出的极化相干斑抑制的三原则不符:1) 协方差矩阵的每一元素都应独立滤波,避免产生串扰;2) 极化特性须得到保持;3) 边缘、点目标、空间纹理等细节信息要保留。PWF 处理后,影像由后向散射矢量或协方差矩阵变成了单通道影像,极化信息丢失,且总功率发生了变化。因此 PWF 并非严格意义上的极化相干斑抑制算法。

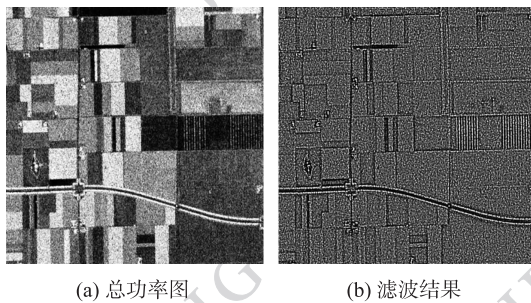


图 1 极化 SAR 影像与 PWF 结果(窗口大小为 5×5)

Fig. 1 Polarimetric SAR images and its PWF result (sub-window: 5×5)

PWF 常用于目标检测^[6-7]预处理,是一种目标增强算法。斑点噪声抑制被看做特殊的目标增强。邻域包含两类目标:一类是待增强的真正目标,也称“信号”目标;另一类是须抑制的虚假目标,也称为

“杂波”目标或“斑点噪声”。滤除噪声就是抑制“杂波”目标,增强“信号”目标。

简化问题,考虑通道为 1 的特殊情况,PWF 退化为标量形式

$$z = \text{tr}(\bar{I}^{-1} I) = I/\bar{I} \quad (3)$$

式中, I 为滑窗中心强度, \bar{I} 为邻域像素灰度均值。

若滤波前对雷达影像作对数运算,式(3)变为

$$\lg(z) = \lg(I) - \lg(\bar{I}) \quad (4)$$

光学影像中拉普拉斯增强算子为^[8]

$$g' = g - \bar{g} \quad (5)$$

式中, g 为增强前影像的灰度, \bar{g} 为去心邻域高斯加权均值, g' 为增强后影像。比较式(4)(5),发现退化为标量的 PWF 实质是 SAR 影像对数变换后的拉普拉斯增强。推广到矢量(矩阵)形式,PWF 亦具有目标增强功能。PWF 是中心像素目标与杂波目标的对比增强过程。由于在增强“信号”目标与噪声目标对比的同时,斑点噪声被抑制,且提出时被命名为滤波器,学界就沿用极化白化滤波一词^[6-7]。

2 改进极化白化滤波的边缘检测

2.1 基于极化白化滤波的 SAR 影像边缘检测

PWF 是一种极化 SAR 目标增强方法。边缘是一类特殊的目标,得到增强,并在增强影像上,使用比值算子,可检测影像中的边缘。但 PWF 本身并不能直接用于检测边缘。通过一定改进,可使其亦具有边缘检测功能。

边缘检测中,常使用水平、垂直、 45° 、 135° 这 4 种典型方向的边缘模板。考察模板 i 对应边缘的检测,边缘两侧像素被看做两个目标 A_i, B_i ,使用 PWF 对这两个目标进行处理:

$$E_i = \text{tr}(\mathbf{C}_{A_i} \mathbf{C}_{B_i}^{-1}) \text{ 或 } E_i = \text{tr}(\mathbf{C}_{B_i} \mathbf{C}_{A_i}^{-1}) \quad (6)$$

式中, \mathbf{C}_{A_i} 和 \mathbf{C}_{B_i} 分别表示 A_i, B_i 对应的极化协方差矩阵, E_i 为 PWF 滤波结果。

式(6)与式(2)存在差异:PWF 中,中心像素与其邻域像素被看成两目标,两者所在的空间相对位置可区分,增强结果可直接用式(2)表示。但边缘两侧目标 A_i, B_i 的空间位置具有对称性,式(6)所示结果不唯一。定义最大值法则:

$$E_i = \max(\text{tr}(\mathbf{C}_{A_i} \mathbf{C}_{B_i}^{-1}), \text{tr}(\mathbf{C}_{B_i} \mathbf{C}_{A_i}^{-1})) \quad (7)$$

理想情况下,若邻域不存在边缘 i ,则边缘两侧协方差矩阵均值相等, $\mathbf{C}_{A_i} = \mathbf{C}_{B_i}$,有

$$E_i = \text{tr}(\mathbf{C}_{A_i} \mathbf{C}_{B_i}^{-1}) = \text{tr}(\mathbf{I}) = N \quad (8)$$

式中, \mathbf{I} 是单位矩阵, N 是协方差矩阵的维数, 在互易条件下, $N=3$ 。存在边缘时, $E_i > N$ 。

使用 4 个模板时, 新边缘检测算子为

$$E_{\text{pwF}} = \max_{i=1}^4 (E_i) \quad (9)$$

$$o = i \text{ where } E_i = \max_{i=1}^4 (E_i)$$

式中 E_{pwF} 和 o 分别为边缘强度和方向。

改进 PWF 的边缘检测新方法具体步骤如下:

1) 初始化算法参数: 滑动窗口大小为 n , 滑窗中心为 $(n/2, n/2)$;

2) 计算 4 个方向模板中边缘两侧协方差矩阵均值为 $\mathbf{C}_{A_i}, \mathbf{C}_{B_i}, i=1, 2, 3, 4$, 其中 A_i, B_i 分别表示模板 i 边缘两侧的目标;

3) 按照式(7)计算四个模板下的边缘强度 E_i ;

4) 按照式(9)求边缘强度的最大值, 作为算法输出的边缘强度, 对应的方向为当前滑窗中心像素的边缘方向;

5) 若所有像素处理完成, 算法结束; 否则移动滑窗中心到下一像素, 回到第 2) 步。

若要求高精度定位边缘方向, 适当增加模板的个数。在估计边缘两侧目标的协方差矩阵时, 可根据空间相关性采用高斯或负指数旋转曲面加权。

2.2 新方法中极化信息的利用

重写单极化比值算子:

$$E = \max(\bar{I}_A \bar{I}_B^{-1}, \bar{I}_B \bar{I}_A^{-1}) \quad (10)$$

比较式(7)(10), 不难发现新方法是单极化比值算子的扩展与改进, 在处理极化数据时, 使用协方差矩阵, 非对角元素发挥了重要作用。

简单起见, 假定极化通道数为 2, 且不考虑模板方向, 记目标 A, B 的协方差矩阵为 \mathbf{A}, \mathbf{B} , 展开式(7)中的迹为

$$\text{tr}(\mathbf{A}\mathbf{B}^{-1}) = \frac{A_{11}B_{22} - A_{12}^*B_{12} - A_{12}B_{12}^* + A_{22}B_{11}}{B_{11}B_{22} - |B_{12}|^2} \quad (11)$$

式中, A_{ij}, B_{ij} 分别是协方差矩阵 \mathbf{A}, \mathbf{B} 的第 i 行 j 列元素。分子中的 $-A_{12}^*B_{12} - A_{12}B_{12}^*$ 与分母中 $-|B_{12}|^2$ 去除了通道间的相关信息。

假定协方差矩阵是对角阵, 即各元素之间不相关, $A_{12} = B_{12} = 0$ 时, 有

$$\text{tr}(\mathbf{A}\mathbf{B}^{-1}) = A_{11}/B_{11} + A_{22}/B_{22} \quad (12)$$

可知 2 维时, 协方差矩阵为对角阵, 通道之间相关性完全被忽略时, 新算法退化为矢量比值算子, 即

矢量比值算子是新方法的特例。

为比较新算法与矢量比值算子的差异, 继续考虑 2 维情况, 式(11)可变形为

$$\text{tr}(\mathbf{A}\mathbf{B}^{-1}) = \frac{A_{22}B_{11} - A_{12}B_{12}^*}{B_{11}B_{22} - |B_{12}|^2} + \frac{A_{11}B_{22} - A_{12}^*B_{12}}{B_{11}B_{22} - |B_{12}|^2} \quad (13)$$

进一步简化问题, 假定邻域中边缘两侧影像通道间的相关系数相同, 即 $A_{12}/\sqrt{A_{11}A_{22}} = B_{12}/\sqrt{B_{11}B_{22}} = t$,

并记 $k = \sqrt{A_{11}A_{22}}/\sqrt{B_{11}B_{22}}$, 有 $A_{12} = kB_{12}$, 代入式(13), 得

$$\text{tr}(\mathbf{A}\mathbf{B}^{-1}) = \frac{A_{22} - kt^2B_{22}}{B_{22} - t^2B_{22}} + \frac{A_{11} - kt^2B_{11}}{B_{11} - t^2B_{11}} \quad (14)$$

不失一般性, 假定

$$\text{tr}(\mathbf{C}_A \mathbf{C}_B^{-1}) = \max(\text{tr}(\mathbf{C}_A \mathbf{C}_B^{-1}), \text{tr}(\mathbf{C}_B \mathbf{C}_A^{-1})) \quad (15)$$

即 $k > 1$, 如下不等式成立:

$$\text{tr}(\mathbf{A}\mathbf{B}^{-1}) < \frac{A_{22} - kt^2B_{22}}{B_{22} - kt^2B_{22}} + \frac{A_{11} - kt^2B_{11}}{B_{11} - kt^2B_{11}} < \frac{A_{22}}{B_{22}} + \frac{A_{11}}{B_{11}} \quad (16)$$

式(16)右边为 2 维矢量比值算子表明, 新方法利用协方差矩阵非对角元素去除了通道间的冗余, 使检测结果比 2 维比值法要小。推广到 3 维极化协方差矩阵, 类似结论依然成立。新方法的改进之处是利用了整个协方差矩阵而不仅仅是对角元素检测边缘, 提高了极化信息的利用率。

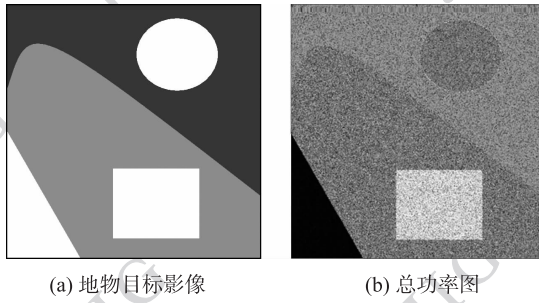
3 实验

3.1 数据描述

1) 模拟数据

图 2(a) 是用于模拟的地物目标影像, 包含 5 个不同的目标, 有三角形、矩形、圆形及不规则图形, 包含圆形边缘、弧形边缘和直线边缘 3 类边缘。每个目标的极化特性用实测地类平均协方差矩阵表示。模拟时使用的协方差矩阵是 L 波段 5 m 分辨率的真实极化影像 H-A-alpha-wishart 分类^[9]后 5 类具有代表性地物的类别中心。根据乘性相干斑噪声模型, 融合极化协方差矩阵与高斯复噪声矢量, 得到模拟的单视极化矢量^[10]。

模拟影像原始大小为 $1\ 200 \times 1\ 200$, 经过 4×4 多视处理, 图 2(b) 所示为总功率图。



(a) 地物目标影像 (b) 总功率图

图2 L波段模拟极化数据

Fig.2 L-band simulated polarimetric SAR data

2) 真实数据

真实数据是由丹麦 L 波段机载 EMISAR 系统获取经过 13 视处理的协方差矩阵, 像元地面间隔为 $5\text{ m} \times 5\text{ m}$, 空间分辨率约为 8 m 。实验区位于丹麦 Foulum 研究中心附近, 大小为 400×400 像素, 包括农田、农场、树篱、林地等多种地物类型, 图 1 (a) 为总功率图。

3.2 实验结果与分析

1) 模拟影像

从两个方面评估模拟影像结果: 真实边缘的强度、宽度、连续性; 非边缘区域的亮度及其变化。

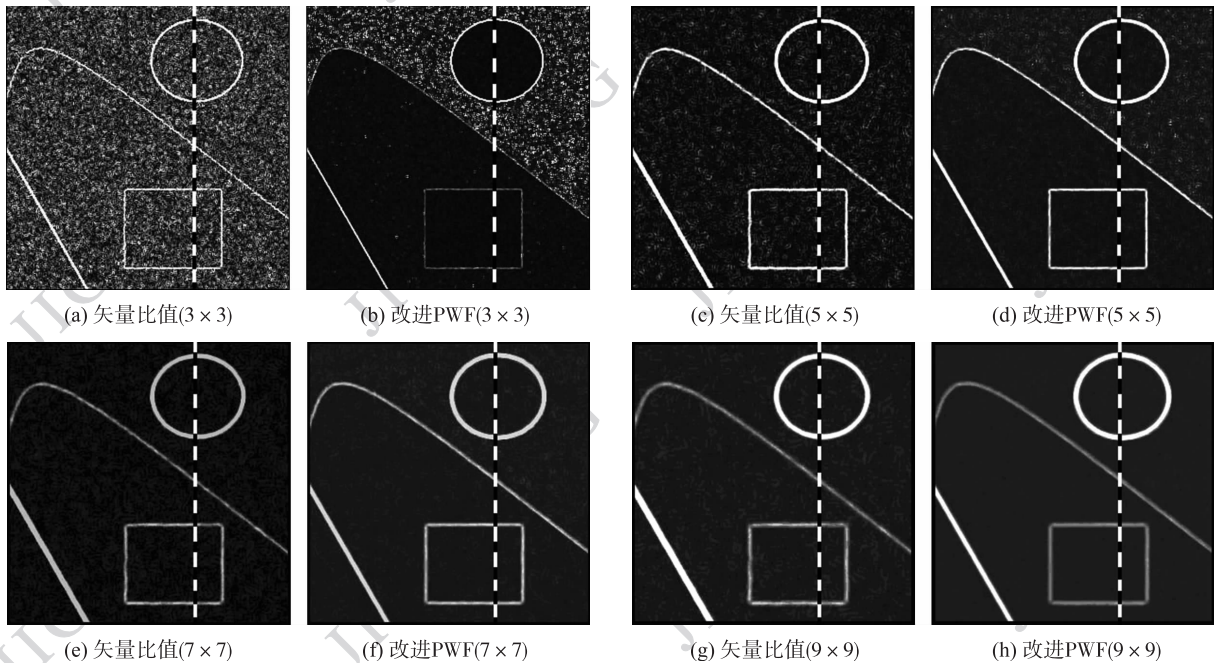
使用了 4 种尺寸的窗口, 分别是 $3 \times 3, 5 \times 5, 7 \times 7, 9 \times 9$ 。本文方法与矢量比值算法的 4 种不

同窗口的结果如图 3 所示。相同的方法, 窗口增大, 噪声的影响逐渐减小, 非边缘区域的均值和方差均有明显下降。当窗口增大到 9 时, 非边缘区域噪声的影响几乎可以忽略不计; 但对于边缘区域, 边缘随着窗口增大而展宽, 且边缘强度随窗口增大下降。

非边缘区的均值和方差分析如表 1, 均值、标准差、标准差均值比均随着窗口增大而减小。窗口大小相同时, 非边缘区域改进 PWF 检测法的边缘强度小于矢量比值法, 且标准差均值比也较小。

对于边缘区, 采用 1 维剖面法分析的 $5 \times 5, 7 \times 7$ 的最佳结果。如图 3 中虚线所示, 在 y 方向上, 取 $x = 200$ 列绘成剖面图, 如图 4 所示。该剖面上 $y = 14, 102, 145, 196, 278$ 处分布着 5 条边缘。4 次检测, 5 处均处于峰值位置, 且无其他较大峰值。但两种不同的方法呈较大差异: 从 5 处边缘的强度来看, 改进 PWF 边缘检测法的值较矢量比值法较小, 这与式 (16) 推导的结论一致。另外对于非边缘区域, 改进 PWF 检测结果的剖面曲线均值较小, 且波动比矢量比值法要小很多。

从模拟影像结果可知, 对于相同大小的窗口, 在真实边缘检测效果和非边缘区的误检两方面, 改进 PWF 检测算法的性能均优于矢量比值算法。



(a) 矢量比值(3×3) (b) 改进PWF(3×3) (c) 矢量比值(5×5) (d) 改进PWF(5×5)
 (e) 矢量比值(7×7) (f) 改进PWF(7×7) (g) 矢量比值(9×9) (h) 改进PWF(9×9)

图3 模拟影像不同窗口大小的结果

Fig.3 Results of simulated data for different window sizes

表1 模拟影像结果均值与方差

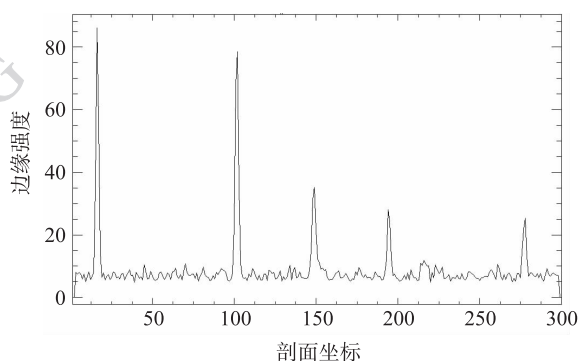
窗口大小	方法	均值	标准差	标准差/均值
3 × 3	矢量比值	1.87	1.61	0.86
	本文方法	1.63	1.34	0.82
5 × 5	矢量比值	1.66	1.28	0.77
	本文方法	1.47	1.07	0.73
7 × 7	矢量比值	1.29	0.94	0.73
	本文方法	1.21	0.85	0.70
9 × 9	矢量比值	1.25	0.80	0.64
	本文方法	1.17	0.69	0.59

2) 真实影像边缘检测

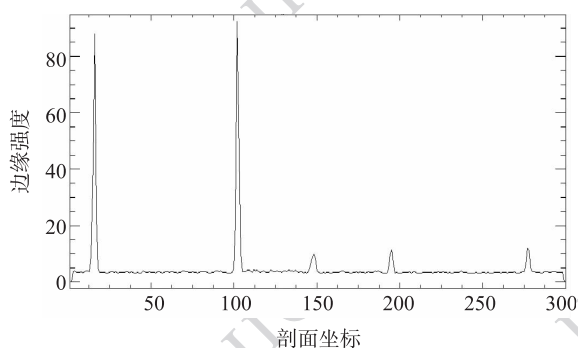
新方法和矢量比值的真实影像结果如图5所示。真实极化 SAR 影像边缘情况众多,边缘形状和方向较为复杂,且缺乏真实边缘数据,难以定量评价,仅从两方面定性分析算法性能^[11]:(1) 真实边缘的检测率,包括边缘的连贯性;(2) 非边缘造成的虚警。

图5中同一方法窗口尺寸增大,噪声减弱,虚假边缘减少,但边缘被展宽,弱小边缘强度下降。

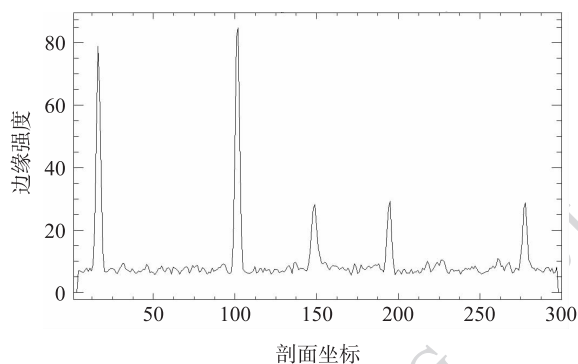
重点比较同一窗口尺寸下本文方法与矢量比值算法的性能。在 3 × 3 窗口中,斑点噪声严重,许多边缘难以检测出,典型的是图右下部的垂直边缘,在图5(a)中断裂严重,几乎没有检测到,但在图5(b)中,强虚警下能够看到较弱的连续边缘。在 5 × 5 窗口结果中,相比 3 × 3 的结果虚假边缘大为减少,边缘总体清晰,较少出现断裂,在图5(c)中矢量比值法亦检测到了垂直边缘,但新方法结果垂直边缘周围非边缘像素强度较小,边缘处强度较大,边缘更为明显。类似结论亦可从窗口为 7 × 7 的结果得到,不同的是边缘被展宽,特别是右下部多条密集的水平边缘由于窗口增大变模糊。在窗口为 9 × 9 的结果中,尽管斑点噪声造成的虚假边缘几乎可以忽略,边缘展宽、边缘强度下降造成的模糊更为严重,几乎所有边缘都存在该问题,如右中部垂直边缘强度较弱,矢量比值法结果中几乎不可见,但新方法结果中仍较明显。从上述定性分析可知:检测效果与极化信息利用程度密切相关;新方法较矢量比值法极化信息利用程度增加,效果改善明显。



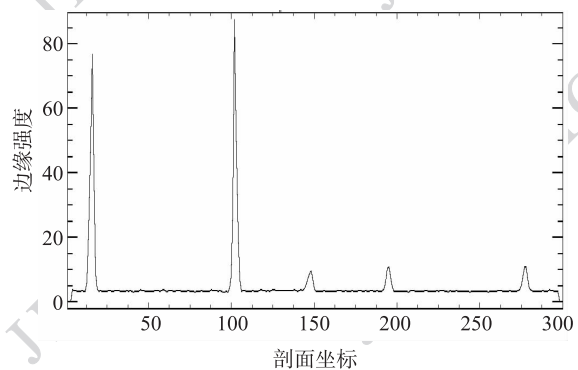
(a) 矢量比值算法剖面图(5 × 5)



(b) 改进PWF算法剖面图(5 × 5)



(c) 矢量比值算法剖面图(7 × 7)



(d) 改进PWF算法剖面图(7 × 7)

图4 模拟影像边缘强度剖面图(x = 200)

Fig. 4 Profiles of edge strength of simulated data (x = 200)

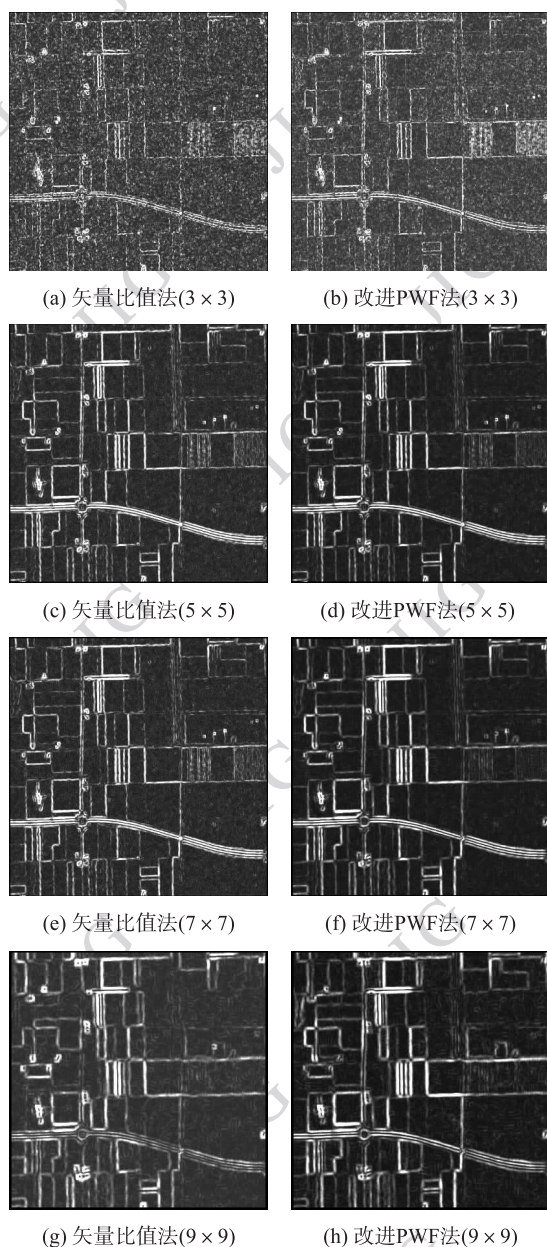


图 5 模拟影像不同窗口大小的结果
Fig. 5 Results of real data for different window sizes

4 结 论

在极化白化滤波方法的基础上,提出了一种基于极化协方差矩阵的 SAR 影像边缘检测新方法。该方法充分利用极化协方差矩阵的非对角元素,提

高了极化信息利用率。模拟和真实数据实验表明新方法在抑制斑点噪声的同时,降低了边缘漏检率,提高了边缘连续性,减少了零碎虚假边缘,具有比矢量比值法更优的边缘检测性能。

参考文献 (References)

- [1] Deng S P, Zhang J X, Li P X, et al. A review of edge detection from polarimetric SAR imagery [J]. Computer Engineering And Applications, 2011, 47(22): 1-6. [邓少平,张继贤,李平湘,等.极化 SAR 影像边缘检测综述[J].计算机工程与应用,2011,47(22):1-6.].
- [2] Jing Y, An J, Liu Z. A novel edge detection algorithm based on global minimization active contour model for oil slick infrared aerial image [J]. IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, 2011, 49(7): 1-9.
- [3] Schou J, Skriver H, Nielsen A A, et al. CFAR edge detector for polarimetric SAR images [J]. IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(1): 20-32.
- [4] Zhou G Y, Cui Y, Chen Y L, et al. Linear feature detection in polarimetric SAR images [J]. IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing, 2011, 49(4): 1453-1463.
- [5] Novak L M, Burl M C. Optimal speckle reduction in polarimetric SAR imagery [J]. IEEE Transactions On Aerospace and Electronic Systems, 1990, 26(2): 293-305.
- [6] Novak L M, Burl M C, Irving W W. Optimal polarimetric processing for enhanced target detection [J]. IEEE Transactions On Aerospace and Electronic Systems, 1993, 29(1): 234-244.
- [7] Novak, L M, Owirka G J, Netishen C M. High-resolution polarimetric SAR automatic target recognition system [J]. Lincoln Laboratory Journal, 1993, 6(1): 11-24.
- [8] Gonzalez R C, Wood R E, Eddins S L. Digital Image Processing Using Matlab [M]. Newyork: Pearson Education Inc., 2004: 89-104.
- [9] Lee J S, Grunes M R, Ainsworth L T, et al. Unsupervised classification using polarimetric decomposition and the complex wishart classifier [J]. IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37(5): 2249-2258.
- [10] LEE J S, GRUNES M R, Kwok R. Classification of multi-look polarimetric SAR imagery based on complex Wishart distribution [J]. INT. J. Remote Sensing, 1994, 15(11): 2299-2311.
- [11] Melgar I, Fombellida J, Gomez J, et al. Edge detection algorithms in intensity SAR images: Empirical comparison of performances and proposed improvements [C]// 2008 World Automation Congress. Waikoloa, USA: IEEE, 2008: 1-7.