



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

2016
05
VOL.21

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB



图像自动聚类 P574



第21卷第5期（总第241期）
2016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
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

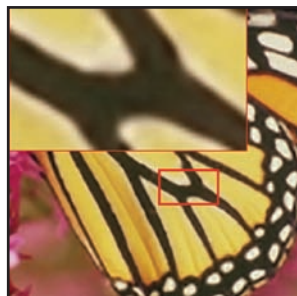
Title inscription: Song Jian Monthly, Started in 1996

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

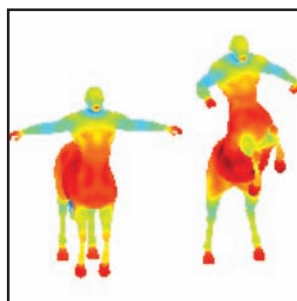
Editor-in-Chief LI Xiaowen
Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of Image and Graphics
P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China
Zip code 100101
E-mail jig@radi.ac.cn
Telephone 010-64807995
Website www.cjig.cn

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.

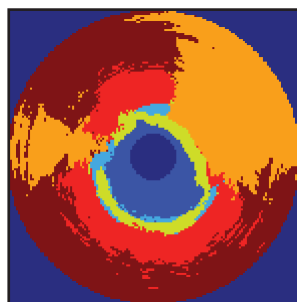
CN 11-3758/TB
ISSN 1006-8961
CODEN ZTTXFZ
国外发行代号 M1406
国内邮发代号 82-831
国内定价 60.00元



利用双通道卷积神经网络的
图像超分辨率算法(第556页)



融合特征描述约束的3维
等距模型对应关系计算(第
628页)



结合先验形状信息和序贯学
习的心血管内超声外弹力膜
检测(第646页)

综述

中国图像工程: 2015

章毓晋 533

图像处理和编码

基于代价敏感Adaboost目标跟踪

薛一哲, 王拓 544

利用双通道卷积神经网络的图像超分辨率算法

徐冉, 张俊格, 黄凯奇 556

图像分析和识别

局部均匀模式描述和双加权融合的人脸识别

任福继, 李艳秋, 许良凤, 胡敏, 王晓华 565

K步稳定的鞋印花纹图像自动聚类

王新年, 舒莹莹 574

空间约束混合高斯运动目标检测

董俊宁, 杨词慧 588

图像理解和计算机视觉

分层信息融合的物体级显著性检测

李波, 金连宝, 曹俊杰, 冷成财, 卢春园, 苏志勋 595

结合区域协方差分析的图像显著性检测

张旭东, 吕言言, 缪永伟, 郝鹏翼, 陈佳舟 605

前景判别的局部模型匹配目标跟踪

刘大千, 刘万军, 费博雯 616

计算机图形学

融合特征描述约束的3维等距模型对应关系计算

杨军, 闫寒, 王茂正 628

一类加权有理插值样条曲面及局部约束控制

刘植, 肖凯, 陈晓彦, 江平, 谢进 636

医学图像处理

结合先验形状信息和序贯学习的心血管内超声外弹力膜检测

林慕丹, 杨丰, 梁淑君, 赵海升, 黄铮, 崔凯 646

遥感图像处理

局部显著特征下的光学遥感图像舷靠舰船检测

李轩, 刘云清, 卞春江, 毛博年 657

长时序高光谱图像清晰度影响因素分析

尚任, 黑保琴, 李盛阳, 覃帮勇, 张九星 665

基于变差函数的中高分辨率SAR影像农村建筑区提取

林晨曦, 周艺, 王世新, 刘文亮, 田野, 张燕楠 674

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

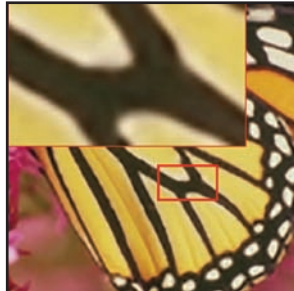
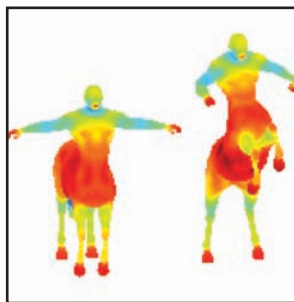
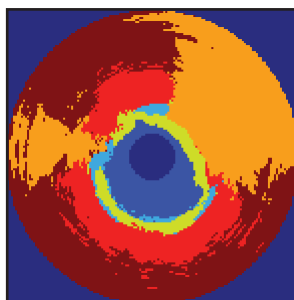


Image super-resolution using two-channel convolutional neural networks(P556)



Calculation of correspondences between three-dimensional isometric shapes with the use of a fused feature descriptor (P628)



External elastic membrane border detection based on for intravascular ultrasound images(P646)

Review

Image engineering in China: 2015	
Zhang Yujin	533

Image Processing and Coding

Object-tracking method based on improved cost-sensitive Adaboost	
Xue Yizhe, Wang Tuo	544
Image super-resolution using two-channel convolutional neural networks	
Xu Ran, Zhang Junge, Huang Kaiqi	556

Image Analysis and Recognition

Face recognition method based on local mean pattern description and double weighted decision fusion for classification	
Ren Fuji, Li Yanqiu, Xu Liangfeng, Hu Min, Wang Xiaohua	565
K-steps stabilization based on automatic clustering of shoeprint images	
Wang Xinnian, Shu Yingying	574
Moving object detection using improved Gaussian mixture models based on spatial constraint	
Dong Junning, Yang Cihui	588

Image Understanding and Computer Vision

Object level saliency detection by hierarchical information fusion	
Li Bo, Jin Lianbao, Cao Junjie, Leng Chengcai, Lu Chunyuan, Su Zhixun	595
Image saliency detection using regional covariance analysis	
Zhang Xudong, Lyu Yanyan, Miao Yongwei, Hao Pengyi, Chen Jiazhou	605
Foreground discrimination in local model-matching tracking	
Liu Daqian, Liu Wanjun, Fei Bowen	616

Computer Graphics

Calculation of correspondences between three-dimensional isometric shapes with the use of a fused feature descriptor	
Yang Jun, Yan Han, Wang Maozheng	628
Weighted rational interpolation spline surfaces and local constraint control	
Liu Zhi, Xiao Kai, Chen Xiaoyan, Jiang Ping, Xie Jin	636

Medical Image Processing

External elastic membrane border detection based on sequential learning and prior shape information for intravascular ultrasound images	
Lin Mudan, Yang Feng, Liang Shujun, Zhao Haisheng, Huang Zheng, Cui Kai	646

Remote Sensing Image Processing

Inshore ship detection method in optical remote sensing images using local salient characteristics	
Li Xuan, Liu Yunqing, Bian Chunjiang, Mao Bonian	657
Analysis of factors influencing clarity of hyper spectral images in long time series	
Shang Ren, Hei Baoqin, Li Shengyang, Qin Bangyong, Zhang Jiuxing	665
Variogram-based rural build-up area extraction from middle and high resolution SAR images	
Lin Chenxi, Zhou Yi, Wang Shixin, Liu Wenliang, Tian Ye, Zhang Yannan	674

中图法分类号: TP79 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2016)05-674-09

论文引用格式: Lin C X, Zhou Y, Wang S X, Liu W L, Tian Y, Zhang Y N. Variogram-based rural build-up area extraction from middle and high resolution SAR images[J]. Journal of Image and Graphics, 2016, 21(5): 674-682. [林晨曦, 周艺, 王世新, 刘文亮, 田野, 张燕楠. 基于变差函数的中高分辨率 SAR 影像农村建筑区提取[J]. 中国图象图形学报, 2016, 21(5): 674-682.] [DOI:10. 11834/jig. 20160515]

基于变差函数的中高分辨率 SAR 影像 农村建筑区提取

林晨曦^{1,2}, 周艺¹, 王世新¹, 刘文亮¹, 田野^{1,2}, 张燕楠³

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 北京城市学院, 北京 100083

摘要: 目的 基于中高分辨率影像进行大范围的农村建筑区提取时, 由于影像分辨率的限制以及农村建筑区规划自身规划特点等因素, 造成了传统变差函数方法的高错分误差。为了准确提取农村建筑区, 为后续获取建筑密度和人口密度等工作建立基础, 提出了一种基于迭代 P 参数法的阈值确定方法。方法 通过设定亮度阈值, 在变差函数纹理计算中为满足条件的像元点赋以权值。本文方法确保在 4 个方向都满足条件的像元点(认为是建筑区)获得较大的变差函数值加成, 而仅在一个方向或者没有方向满足条件的像元点(认为是非建筑区)获得较小加成或不变, 以此改进传统变差函数方法, 抑制了农村建筑区与周边非建筑区的混淆。结果 以 Radarsat-2 的多个极化波段影像为数据源进行了实验, 改进变差函数方法在实验区 1 与实验区 2 的各个波段平均检测率分别为 91.58% 和 90.11%, 平均错分误差分别为 19.83% 和 31.87%。结论 与传统变差函数方法以及最小距离法相比, 既保证了较高的检测率, 同时显著降低了错分误差, 不足之处是在建筑区与非建筑区的边缘处以及与建筑区具有相似纹理特征的非建筑区处出现错分, 需要进一步的研究和完善。

关键词: 纹理分析; 变差函数; SAR 图像; 农村建筑区; 迭代 P 参数法

Variogram-based rural build-up area extraction from middle and high resolution SAR images

Lin Chenxi^{1,2}, Zhou Yi¹, Wang Shixin¹, Liu Wenliang¹, Tian Ye^{1,2}, Zhang Yinnan³

1. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Beijing City University, Beijing 100083, China

Abstract: **Objective** With rapid development of the social economy and the urbanization process, building land has increased continuously, promoting the use of remote sensing images on built-up area extraction, which lays the foundation for detecting buildings and obtaining indices, such as building density and population density. Variogram is proven to be an effective methodology in extracting texture characterization with high precision when applied to urban built-up area extraction from high-resolution synthetic aperture radar (SAR) images. However, limited by factors, such as imagery resolution and structural features of rural built-up areas, the traditional way of executing the variogram is characterized by a high false

收稿日期: 2015-09-24; 修回日期: 2015-12-17

基金项目: 高分辨率对地观测系统重大专项基金项目(00-Y30B14-9001-14/16-1, 00-Y30B14-9001-14/16-2, 00-Y30B15-9001-14/16-1)

第一作者简介: 林晨曦(1992—), 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, 主要研究方向为城市与区域遥感。E-mail: linex01@radi.ac.cn

通信作者: 周艺, 博士生导师, 研究员, E-mail: zhouyi@radi.ac.cn

alarm rate when extracting rural built-up areas in a large extent from middle- and high-resolution SAR images. Aimed at extracting rural built-up areas precisely, ensuring a high detection rate, and lowering the false alarm rate, this study proposed a new method to determine the threshold based on the iterative P -parameter. **Method** Through the establishment of the brightness threshold, pixels that meet the requirement can be assigned a weight to increase the value of the variogram for pixels up to a standard in four directions (which can be considered built-up areas) and to restrain the increase of pixels only fitting one direction or having no direction (which can be considered non-built-up areas). Thus, the confusion between built-up areas and its counterpart is reduced. The experiment employed Radarsat-2 image as data source. According to the features of the variogram, cross-polarization images, VH and HV bands, and their principal component analysis transformation, which are characterized by a high discrepancy between built-up areas and non-built-up areas, are selected as input data. The first step is to determine the threshold and weight based on the iterative P -parameter. The second step is to extract the feature vectors of the image using the variogram. The third step is binarization with the FCM classifier. The final step is to determine whether to recalculate or not according to the extraction precision. **Results** The results indicate that the mean detection rates of the advanced variogram method on experimental areas 1 and 2 are 91.58% and 90.11%, respectively, whereas the mean false alarm rates are 1.983% and 3.187%, respectively. Compared with the traditional and minimum distance methods, the proposed method not only maintains a relatively high detection rate but also decreases the false alarm rate significantly. **Conclusion** The precision of rural built-up area extraction basically satisfies the requirements of practical application. However, the method still has several drawbacks. First, the “edge effect”, which refers to the phenomenon that the edge of built-up areas extracted from the image are actually wider than the actual edge, accompany almost every part of the extracted built-up areas. Meanwhile, this methodology is unable to recognize regions sharing similar texture features with built-up areas, such as the highlighted thready road and lumpish arable land, leading to false recognition of built-up areas. To solve the aforementioned problems, a method to restrain the high value of the variogram in places adjacent to the boundary of building areas and preprocessing are needed to ensure that certain texture features symbolize only the built-up areas.

Key words: texture analysis; variogram; SAR image; rural build-up area; iterative P -parameter

0 引言

随着社会经济的发展,建筑用地不断增加,运用遥感图像进行建筑区提取研究为区域建筑物检测,建筑密度、人口密度等城市化指标的获取提供了基础,具有重要的价值。

国内外针对建筑区提取的研究主要可分为基于光学影像与基于 SAR 影像两种。

常见的基于光学影像的建筑区提取方法包括监督分类法,如 Pham 等人^[1]利用最大似然法对越南 1975—2003 年的建成区范围进行了提取,并结合同类相临比例(PLADJ)分析了越南城市的发展模式;非监督分类法,如张洁等人^[2]使用 8 波段的 WorldView2 影像,提出了一种基于自组织映射和分水岭分割的非监督分类算法,并证明该算法在同质区的分类精度比 K 均值分类方法要好;基于谱间特征及多种指数法,如杨存建等人^[3]利用居民地在 TM 图像各波段的光谱特点,建立了居民地提取模型;面向

对象的分类方法,如高海燕等人^[4]在利用 eCognition 作影像分割时融入像元形状指数(PSI)特征指数,最后利用支持向量机(SVM)方法对分割后的影像进行建筑区的提取,提高了总体精度;基于纹理、形状信息的提取方法,如胡玉福等人^[5]利用灰度共生矩阵对 SPOT5 影像进行了纹理特征提取,利用对比度、角二阶矩、熵、同质度 4 个纹理特征进行影像分类,较传统监督分类提高了分类精度。

基于单幅 SAR 图像进行地物分类的方法主要有两种:基于图像灰度分布模型分析和基于纹理分析的方法。

基于图像灰度的方法主要包括聚类分析、最大似然法、最大后验概率、最小距离法等常规分类方法。其优点在于便于引入 SAR 图像统计分布先验信息,在模型对数据拟合度较高的情况下,能取得良好的分类性能^[6];然而,这些 1 维分类方法完全基于图像的灰度信息,忽略图像的空间分布特性,对于图像灰度相近但又不是一类的地物就难以区分,容易产生“同谱异物”,现象造成分类精度难以达到实用要求^[7]。

纹理指的是图像上色调变化的频率,即图像的细部特征,它是一种单一细小特征的组合,遥感影像的纹理特征主要表现为影像地物的形状、大小、方位、均质程度以及不同地物之间的空间关系和亮度反差关系等^[8]。纹理分析考虑了邻近像素间的空间信息而不仅是像素灰度信息,从而成为城区 SAR 图像分类的重要方法,国内外学者也做了大量的研究,如 Dell'Acqua 等人^[9]利用灰度共生纹理度量来刻画城区 SAR 图像上不同区域的建筑覆盖密度从而区分城市中心居住区和郊区,Tison 等人^[10]利用马尔可夫随机场纹理分类方法对城区进行精细的分类,强永刚等人^[11]利用小波变换和数学形态学提取人工建筑区,赵凌君等人^[12]利用均值滤波变差函数的方法实现了建筑区的快速提取,王燕红等人^[13]利用基于中值滤波的改进变差函数提取建筑区,提高了算法的稳健性。

与传统光学影像容易受到自然条件影响不同,SAR 图像具有全天时、全天候侦察的特点以及较强的地表穿透能力,因此具有更广的应用空间;同时,虽然 SAR 图像不如高分辨率光学影像纹理信息丰富,但是建筑物在 SAR 图像上具有光学图像上并不具备的特点,如高亮度、易于同背景分离,特殊的成像机制造成有一定规律性的几何形状等,因此建筑物的纹理特征在 SAR 图像上表现的更为明显;最后,由于 SAR 图像的成像机理与光学遥感图像存在较大的差别,如在高分辨率光学影像上,建筑物的屋顶、侧墙等结构往往清晰可见,因此很多方法都是直接基于建筑物最显著的几何形状特征,而 SAR 的侧视成像几何机制会造成建筑物明显的几何畸变,在不同的成像条件下,同一个建筑物就有可能表现出很大的形状差异^[6]。因此,SAR 图像建筑物的提取不能直接利用光学领域的成果。变差函数作为一种较新的纹理分析方法,近年来被广泛利用于建筑区的提取研究中,并在高分辨率 SAR 影像的城市建筑区提取中取得了较高的精度。然而在基于中高分辨率影像进行大范围的农村建筑区提取时,由于影像分辨率的限制以及农村建筑区自身规划特点等因素,目标区域在图像上呈现出完全不同于高分辨率 SAR 影像城市建筑区域的纹理特点,在利用传统的基于中值滤波或均值滤波的变差函数方法进行农村建筑区的提取时难以与非建筑区分,造成了较高的错分误差,精度难以满足实际应用。

本文基于变差函数理论,在分析了中高分辨率 SAR 图像中城市建筑区与农村建筑区的差异的基础上,提出了一种基于迭代 P 参数法的阈值确定方法,通过设定亮度阈值,在变差函数纹理计算中为满足条件的像元点赋以权值,确保在 4 个或 3 个方向都满足条件的像元点(认为是建筑区)的变差函数值增加较多,而仅在一个方向或者没有方向满足条件的像元点(认为是非建筑区)的变差函数值增加较少或不变,以此改进传统变差函数方法,抑制了农村建筑区与周边非建筑区的混淆,不仅保证了较高的检测率,同时显著降低了错分误差。

1 基于改进变差函数的农村建筑区提取

1.1 变差函数原理

变差函数是地统计学中的一个重要组成部分,用来描述和识别格局的空间结构,是遥感图像纹理分析的一种重要方法^[14]。

遥感图像的一个波段是一个 2 维平面,在此 2 维平面 D 上定义区域变化量

$$\{f(x); x \in D\} \quad (1)$$

在区域化变量理论的基础之上,变差函数定义为区域变化量 $f(x)$ 在空间中相距 h 的两个点 x 和 $x+h$ 变量差值的方差 $Var(\cdot)$ 的一半,即

$$\gamma(x, h) = \frac{Var(f(x) - f(x+h))}{2} \quad (2)$$

在离散化的遥感图像中,变差函数可用其无偏估计来表示,即

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (f(x_i) - f(x_i+h))^2 \quad (3)$$

式中, $N(h)$ 表示一个区域内间距为 h 的样点对数。

在计算图像的变差函数值时,影响结果的 3 个参数分别是步长、窗口大小以及方向。采用模型拟合的方式确定步长 h , 根据文献[15-16], 取窗口大小为 $4h+1$, 方向取 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$, 计算方法如图 1。

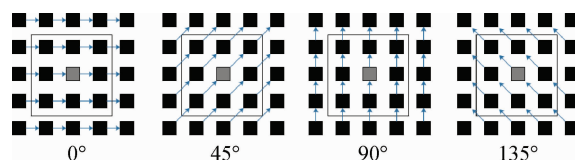


图 1 变差函数纹理特征计算示意图

Fig. 1 Computation of Variogram

1.2 农村建筑区与城市建筑区的纹理差异

建筑区的主要散射机制可以概括为以下 4 个方面^[17]:

- 1) 镜面反射, 主要发生在屋顶;
- 2) 二次散射, 主要存在于光滑地面与墙面之间, 粗糙植被与墙面之间;
- 3) 多次散射, 主要发生在建筑物墙面以及地面之间;
- 4) 表面散射, 主要发生在粗糙植被间。

虽然散射机制相同, 然而城市建筑区与农村建

筑区由于建筑物的布局、材质、结构以及周围环境的差异, 在 SAR 图像上呈现不同的纹理特征。城市中建筑物分布整齐, 楼房之间间距较大, 大多为平顶整齐的高层楼房, 使用材料大多具有良好反射率^[13], 在图像上表现为强亮度区域, 而建筑物之间的道路, 粗糙植被如草坪等, 由于表面散射, 表现为暗区域, 因此, 城市建筑区在图像上表现为明暗相间的纹理, 相似性较小, 变差函数值大; 农村建筑区分布相对散乱, 没有明显规律, 且道路等区域在图像上不明显, 因此呈现不规则亮斑状, 相似性增大, 变差函数值减小。

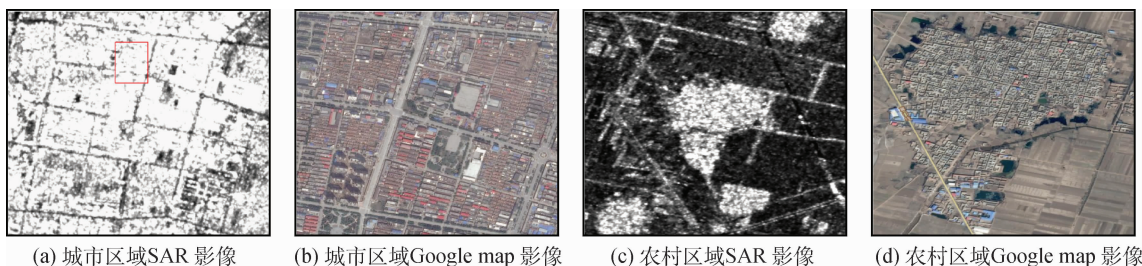


图2 城市建筑区与农村建筑区图像特征

Fig. 2 Characterization of urban build-up area and rural build-up areas ((a) SAR image of urban build-up areas; (b) Google map image of urban build-up areas; (c) SAR image of rural build-up areas; (d) Google map image of rural build-up areas)

1.3 改进变差函数方法

由城市建筑区与农村建筑区在中高分辨率 SAR 图像上的纹理特征可知, 农村建筑区呈现不规则亮斑区域, 内部灰度分布相对均匀, 因此内部部分点由于其周围各点均为亮点而导致变差函数值变小, 不易与非建筑区分, 造成漏分错分, 因此考虑设立阈值 T , 满足

$$Var'(x) = \begin{cases} w \times Var(x) & DN > T \\ Var(x) & DN \leq T \end{cases} \quad (4)$$

式中, w 为权值, DN 为像元亮度值。当 x 点和 4 个方向上的 $(x+h)$ 点的亮度同时大于阈值 T 时, 则赋予权值; 只要 x 点或者 $(x+h)$ 点中有一个点的亮度值小于 T , 则保持原值。经过赋予权值的处理后, 在 4 个或 3 个方向都满足条件的像元点 (认为是建筑区) 的变差函数值增加较多, 而仅在一个方向或者没有方向满足条件的像元点 (认为是非建筑区) 的变差函数值增加较少或不变。

阈值 T 的确定采用 P 参数法, 即假设预先知道建筑区占整个图像的比例为 P , 计算整幅图像的灰度直方图分布 $p(t)$, 当

$$\left| \frac{\sum_{t=0}^T p(t)}{PS} - P \right| \quad (5)$$

或者

$$\left| 1 - \frac{\sum_{t=0}^T p(t)}{PS} - P \right| \quad (6)$$

取最小值时, 则取此时对应的灰度 T 作为阈值。式中, PS 为像元数总和, 通过对 SAR 影像进行判断, 可知建筑区在图像上呈高亮显示, 而其他类别的地物, 如水域、耕地均呈现低亮显示, 因此选择式 (6) 作为确定阈值的基础, 并采用最小距离分类确定初始建筑区比例 P 。

在原始变差函数图像上, 由于农村建筑区的分布、材质等特征, 出现边缘区域较亮而内部较暗的情况, 造成对内部各点的漏分以及对周围非建筑区像元的错分。因此, 通过选择部分原始变差函数图像上的农村边缘区域以及农村内部区域的像元点的变差函数值的比值来确定权值, 以确保建筑区边缘与内部的变差函数值相近, 即

$$w = \frac{\frac{1}{PS_{edge}} \sum_{i=1}^{PS_{edge}} Var_{edge}(i)}{\frac{1}{PS_{inner}} \sum_{i=1}^{PS_{inner}} Var_{inner}(i)} \quad (7)$$

式中, PS_{edge} 为选择的边缘点的数量, PS_{inner} 为选择的

内部点的数量, Var_{edge} 为边缘点的变差函数值, Var_{inner} 为内部点的变差函数值。

根据确定的初始阈值与权值, 可获得该阈值下的变差函数纹理图, 通过 FCM 二值化得到分类图, 得到建筑区所占比例 P' , 比较 P 与 P' , 若

$$\frac{|P - P'|}{P} \leq 5\% \quad (8)$$

则认为满足精度要求, 可将该分类图作为最终结果;

反之, 令 $P' = P$, 重新计算。

1.4 提取流程

提取流程如图 3, 首先选择波段组合, 然后根据模型拟合确定步长以及窗口大小, 根据 P 参数法确定阈值, 确定权值, 计算出影像的变差函数纹理图之后利用 FCM 算法对变差函数纹理图进行阈值分割, 最后根据分类图像进行精度验证, 并检验精度判断是否需要重新迭代。

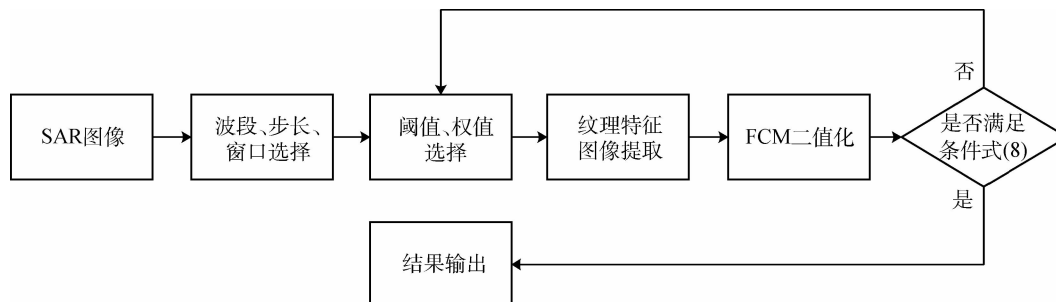


图 3 实验流程图

Fig. 3 Flowchart

2 实验及结果分析

2.1 实验数据

实验采用 2015 年 4 月 25 日获取的冀州市周边升轨 Radarsat-2 数据, 图像分辨率约为 10×10 m, 幅宽为 25×25 km, 极化方式为全极化, 通过 SARscape 软件进行多视, Frost 滤波, 编码至地理坐标系。

2.2 参数设置

为了选择适合的极化波段, 随机选择 20 个样本区域, 包括 10 个建筑区样本与 10 个非建筑区样本进行分析, 样本区统计数据如表 1。

由表 1 可以发现, 同极化波段 HH, VV 在非建筑区和建筑区的 DN 值均低于交叉极化波段 HV 和 VH, 但是缩小了建筑区与非建筑区 DN 值之间的差异, 因此, 考虑选用 HV, VH 以及这两个波段的主成分变换分量作为研究数据。

通过选取建筑区切片, 计算步长从 1 ~ 40 的变差函数曲线, 如图 4(a) 所示, 针对变差函数曲线的形状, 考虑使用指数模型进行拟合, 指数模型为

$$\gamma(h) = C_0 + C_1(1 - e^{(-3h/a)}) \quad (9)$$

拟合效果如图 4(b) 所示, 变程 $a = 7$, 根据确定的变程 a , 将窗口大小 w 取为 29。

表 1 样本区统计数据

Table 1 Statistical data of samples

样本	均值(HH/HV/VH/VV)	标准差(HH/HV/VH/VV)
农村 1	118/169/166/106	28/38/38/28
耕地 1	58/77/77/77	20/16/15/22
耕地 2	53/72/72/57	16/25/23/16
城市 1	171/227/230/186	45/35/33/48
耕地 3	65/86/87/77	17/22/22/24
农村 2	143/193/193/133	45/40/39/42
农村 3	109/145/145/117	34/37/36/34
农村 4	111/158/159/108	26/39/39/28
农村 5	119/172/172/120	30/39/39/30
耕地 4	61/89/90/77	16/22/21/19
耕地 5	60/75/76/67	14/14/16/14
耕地 6	86/57/57/74	19/14/13/17
耕地 7	87/54/65/79	18/28/29/20
城市 2	147/205/206/155	39/38/37/36
农村 6	142/175/176/152	44/38/38/41
农村 7	118/171/172/113	31/41/42/32
耕地 8	88/52/53/77	20/11/12/18
耕地 9	83/85/84/85	28/19/19/21
农村 8	126/164/164/127	31/39/39/34
耕地 10	92/88/88/15	35/22/22/36

通过最小距离分类, 得到建筑区与非建筑区的初始分类图, 得到建筑区的比例约为 10.6%, 因此

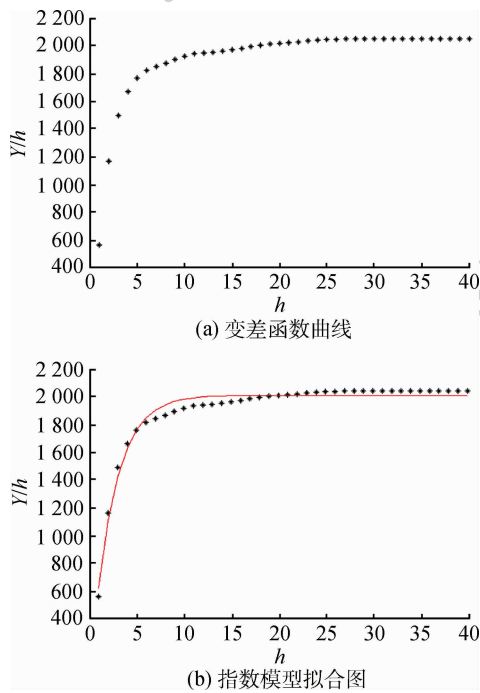


图 4 变差函数曲线图

Fig. 4 Curve of variogram ((a) curve of variogram;
(b) fitted curve)

设定 VH 波段的初始阈值为 132, HV 波段的初始阈值为 133, 主成分分量的初始阈值为 128, 权值设定为 5。

根据多次迭代, 最终确定 VH 建筑区比例为 11.83%, 阈值为 128, HV 建筑区比例为 11.75%, 阈值为 128, 主成分分量建筑区比例为 11.69%, 阈值为 127。

2.3 实验结果

根据提出的方法对原始影像进行建筑区的提取, 并结合部分区域目视解译结果作为精度验证的标准。将提取结果与目视解译结果相叠加, 如图 5、图 6 所示。

从对比图中可以看出, 基于灰度统计模型的最小距离法由于只考虑了 1 维灰度信息而忽略了 2 维位置信息, 因此对于具有高亮度的非建筑区造成了错分, 而对具有低亮度的建筑区造成了漏分, 同时, 由于灰度信息是离散的, 因此分类结果较为零散, 图像中出现很多细小斑点; 传统变差函数方法既考虑了 1 维灰度信息, 又考虑了 2 维空间信息, 因此分类图像的聚集性更强, 但是由于农村建筑区的纹理特点使得部分区域与非建筑区混淆, 造成大量错分; 本文方法在使分类结果具有强聚集性的同时明显抑制了建筑区与非建筑区的混淆, 仅在建筑区边缘与部分高亮区域处出现错分。

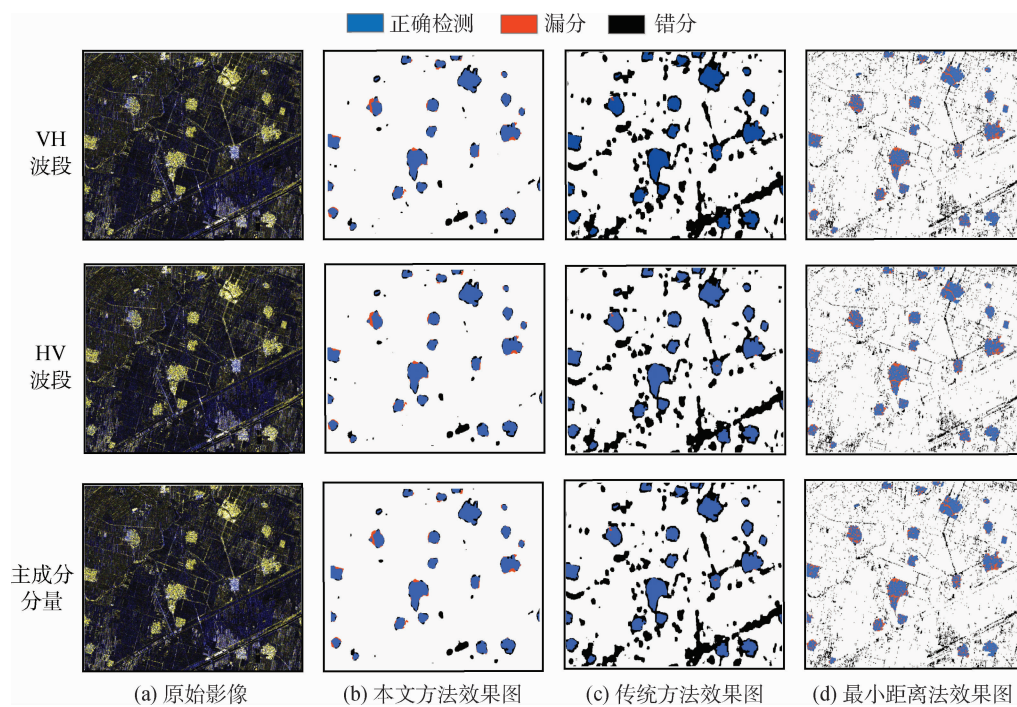


图 5 实验区 1 提取结果

Fig. 5 Extraction result from Sample-1 ((a) original image; (b) result of improved algorithm; (c) result of original algorithm;
(d) result of minimum distance algorithm)

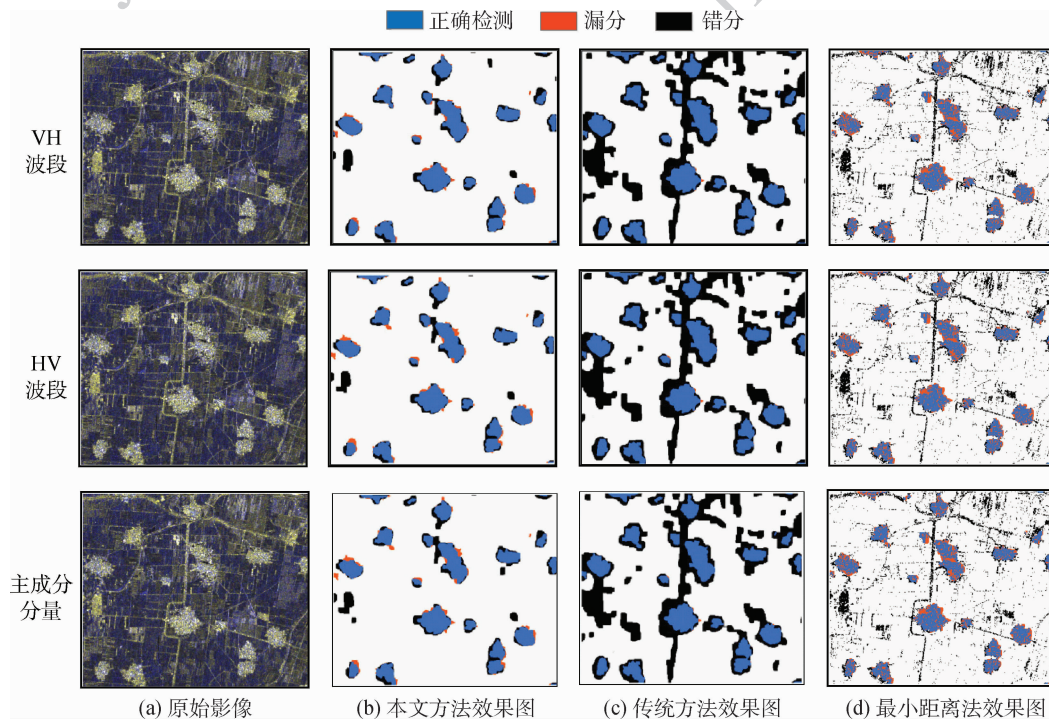


图6 实验区2提取结果

Fig. 6 Extraction result from Sample-2 ((a) original image; (b) result of improved algorithm; (c) result of original algorithm; (d) result of minimum distance algorithm)

为了定量描述提取结果的精度,本文采用检测率(DR),漏分误差(ME)和错分误差(FE)来进行结果评价^[18],其分别为

$$DR = \frac{TP}{TP + MP} \quad (10)$$

$$ME = \frac{MP}{TP + MP} \quad (11)$$

$$FE = \frac{FP}{TP + FP} \quad (12)$$

式中, TP 表示正确被归类为建筑区的像元个数, MP 表示漏分的建筑区像元个数, FP 表示错分的建筑区像元个数。

精度评价如表2、表3所示。

2.4 结果分析

从精度评价表2和表3可以看出,虽然原始方法有很高的检测率,实验区1平均检测率为99.47%,实验区2平均检测率为99.58%,但是错分误差过高,实验区1平均达到69.51%,实验区2平均达到68.05%,主要原因是道路、耕地与建筑区的混淆,因此不具备实用性;本文方法在检测率较原始方式略有下降,实验区1平均检测率为91.58%,实验区2为90.11%,但是显著降低了错分误差,实验区1为19.83%,相较于原始方法下降49.68%;实验区2为

表2 实验区1精度分析

Table 2 Precision analysis of Sample-1

波段	方法	检测率	漏分误差	错分误差
VH	改进	91.62	8.38	21.35
	原始	99.5	0.5	69.8
	最小距离	78.06	21.94	54.00
HV	改进	91.81	8.19	20.35
	原始	99.38	0.62	69.31
	最小距离	78.93	21.07	53.46
PCA	改进	91.32	8.68	17.80
	原始	99.52	0.48	69.41
	最小距离	78.53	21.47	53.35

表3 实验区2精度分析

Table 3 Precision analysis of Sample-2

波段	方法	检测率	漏分误差	错分误差
VH	改进	91.71	8.29	30.21
	原始	99.62	0.38	67.99
	最小距离	70.41	29.59	53.42
HV	改进	89.78	10.22	33.66
	原始	99.52	0.48	68.32
	最小距离	71.69	28.31	52.84
PCA	改进	88.83	11.17	31.74
	原始	99.59	0.41	67.83
	最小距离	71.29	28.71	52.82

31.87%, 下降 36.18%; 基于灰度统计模型的最小距离法在检测率与错分误差方面均差于本文方法。

如图 7 所示, 实验区 1 的错警区域主要集中在农村建筑区边缘的耕地以及由少量功能性建筑, 如工厂、采矿场, 以及其功能区内的覆盖用地, 这是由于建筑区周围的耕地边界处, 相似性较小, 变差函数

值较大, 而图示功能性区域在 SAR 图像呈现高亮显示, 与农村建筑区纹理特征类似, 因此造成混淆; 实验区 2 的错警区域除了集中在建筑区边缘的耕地以及部分与农村建筑区相邻的高亮线状道路, 还存在于图像中高亮显示的块状耕地处, 覆盖面积较大, 因此错警率较实验区 1 有所增加。

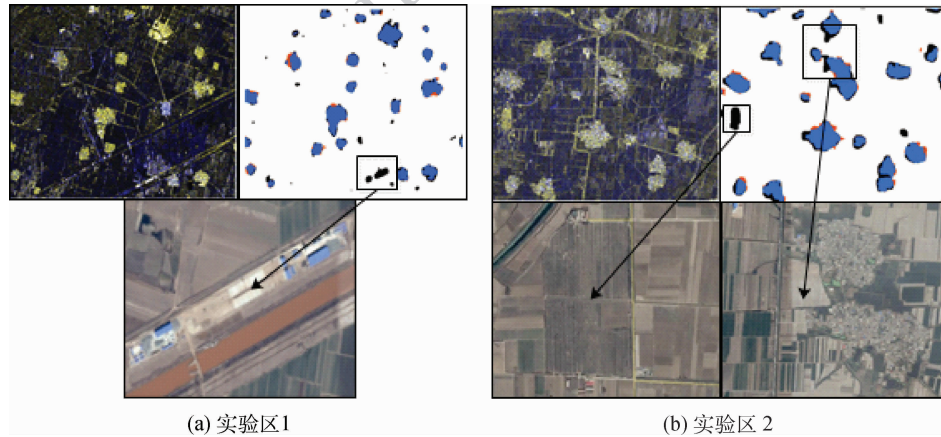


图 7 错分区域分析

Fig. 7 Analysis on areas of false alarming ((a) Sample-1; (b) Sample-2)

3 结 论

针对中高分辨率 SAR 影像上农村建筑区的纹理特点, 提出了一种基于迭代 P 参数法确定阈值的加权变差函数方法, 即根据 P 参数法确定阈值, 为满足条件的像元赋予权重, 从而加大建筑区与非建筑区的变差函数差值; 然后, 利用指数模型对建筑区切片进行变差函数曲线的拟合从而确定变程和窗口大小; 最后根据获得的变差函数纹理图进行 FCM 二值化获得建筑区与非建筑区的分类图。优点在于通过设定阈值和权值, 扩大了农村建筑区的变差函数值, 弥补了由于农村建筑区内部均质而造成的变差函数偏小的情况, 从而抑制了建筑区与非建筑区的混淆; 不足之处是没有解决变差函数的边缘溢出效应, 即在所得建筑区的边缘通常大于实际边缘, 同时对于图像上少量纹理特点与建筑区相似的区域, 如高亮线状道路以及高亮块状耕地, 缺乏识别能力, 造成建筑区的错分, 在今后的研究中有待改进。

参考文献 (References)

[1] Pham H M, Yamaguchi Y. Urban growth and change analysis

using remote sensing and spatial metrics from 1975 to 2003 for Hanoi, Vietnam[J]. International Journal of Remote Sensing, 2011, 32(7): 1901-1915. [DOI: 10.1080/01431161003639652]

[2] Zhang J, Kerekes J. Unsupervised urban land-cover classification using WorldView-2 data and self-organizing maps[C]//IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Vancouver, BC, Canada: IEEE, 2011: 201-204. [DOI: 10.1109/IGARSS.2011.6048927]

[3] Yang C J, Zhou C H. Extracting residential area from TM image on the basis of knowledge discovered[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2001, 16(1): 1-6. [杨存建, 周成虎. 基于知识发现的 TM 图像居民地自动提取研究[J]. 遥感技术与应用, 2001, 16(1): 1-6.] [DOI: 10.3969/j. issn. 1004-0323. 2001. 01. 001]

[4] Gao H Y, Bo W U. Object-oriented classification of high spatial resolution remote sensing imagery based on image segmentation with pixel shape feature[J]. Remote Sensing Information, 2010, 25(6): 67-72. [高海燕, 吴波. 结合像元形状特征分割的高分辨率影像面向对象分类[J]. 遥感信息, 2010, 25(6): 67-72.] [DOI: 10.3969/j. issn. 1000-3177. 2010. 06. 015]

[5] Hu Y F, Deng L J, Kuang X H, et al. Study on land use classification of high resolution remote sensing image based on texture feature[J]. Geography and Geo-Information Science, 2011, 27(5): 42-45, 68. [胡玉福, 邓良基, 匡先辉, 等. 基于纹理特征的高分辨率遥感图像土地利用分类研究[J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27(5): 42-45, 68.]

[6] Zhao L J, Tan X, Kuang G Y. A novel method for urban SAR

- image classification based on Variogram modeling[J]. Modern Radar, 2014, 36(2): 29-34. [赵凌君, 谭熙, 匡纲要. 基于变差函数模型拟合的城区 SAR 图像分类新方法[J]. 现代雷达, 2014, 36(2): 29-34.] [DOI: 10.3969/j. issn. 1004-7859. 2014. 02. 007]
- [7] Xu J, Chen Y Y, Huang Q H, et al. Build-up areas extraction in high resolution spaceborne SAR image based on the integration of grey and texture features[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(5): 692-698. [徐佳, 陈媛媛, 黄其欢, 等. 综合灰度与纹理特征的高分辨率星载 SAR 图像建筑区提取方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(5): 692-698.]
- [8] Hua Y Y. The application research of texture information on remote sensing image classification[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2009. [华媛媛. 纹理信息在遥感图像分类中的应用与研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2009.]
- [9] Dell'Acqua F, Gamba P. Texture-based characterization of urban environments on satellite SAR images[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(1): 153-159. [DOI: 10.1109/TGRS.2002.807754]
- [10] Tison C, Nicolas J M, Tupin F, et al. 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]
- [11] Qiang Y G, Yin J P, Zhu E, et al. Extraction of building area from remote sensing images based on wavelets transformation and mathematical morphology[J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(8): 1459-1464. [强永刚, 殷建平, 祝恩, 等. 基于小波变换和数学形态学的遥感图像人工建筑区提取[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(8): 1459-1464.] [DOI: 10.11834/jig.20080812]
- [12] Zhao L J, Gao G, Kuang G Y. Variogram-based built-up areas extraction from high-resolution SAR images[J]. Signal Processing, 2009, 25(9): 1433-1442. [赵凌君, 高贵, 匡纲要. 基于变差函数纹理特征的高分辨率 SAR 图像建筑区提取[J]. 信号处理, 2009, 25(9): 1433-1442.] [DOI: 10.3969/j. issn. 1003-0530. 2009. 09. 019]
- [13] Wang Y H, Cheng B, You S C, et al. Extraction of building areas from high-resolution SAR images based on advanced variogram method[J]. Remote Sensing Information, 2014, 29(2): 3-8. [王燕红, 程博, 尤淑撑, 等. 基于改进变差函数的高分辨率 SAR 图像建筑区提取[J]. 遥感信息, 2014, 29(2): 3-8.] [DOI: 10.3969/j. issn. 1000-3177. 2014. 02. 001]
- [14] Wu J G. Landscape Ecology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2001. [邬建国. 景观生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.]
- [15] McBratney A B, Webster R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates[J]. Journal of Soil Science, 1986, 37(4): 617-639. [DOI: 10.1111/j. 1365-2389. 1986. tb00392. x]
- [16] Rossi R E, Mulla D J, Journel A G, et al. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence[J]. Ecological Monographs, 1992, 62(2): 277-314. [DOI: 10.2307/2937096]
- [17] Borghys D. Interpretation and registration of high-resolution polarimetric SAR images[D]. Paris: Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, 2001.
- [18] Shufelt J A. Performance evaluation and analysis of monocular building extraction from aerial imagery[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1999, 21(4): 311-326. [DOI: 10.1109/34.761262]