

面向对象的中值绝对偏差法在建筑物提取中的应用

龚循强^{1,2*}, 刘星雷^{1,3}, 鲁铁定¹, 陈志高¹¹ 东华理工大学测绘工程学院, 江西 南昌 330013;² 东华理工大学江西生态文明建设制度研究中心, 江西 南昌 330013;³ 西安市勘察测绘院, 陕西 西安 710054

摘要 建筑物是一种极其重要的人工地物目标,通过提取建筑物可为城市规划、人口估算和景观分析等提供技术支持。面向对象分类方法作为目前提取地物的有效手段之一,已广泛应用在建筑物信息的提取中。面向对象的形态学建筑物指数法具有较好的实用性,但提取稀疏建筑物的效果仍有待提高。为了解决这一问题,将中值绝对偏差应用于面向对象的建筑物提取,分别对建筑物密集和稀疏两种情况进行分析,采用查准率、查全率和 F_1 分数等指标对提取结果进行评价。实验结果表明,面向对象的中值绝对偏差法提取稀疏建筑物的效果明显优于面向对象分类方法和面向对象的形态学建筑物指数法。

关键词 测量; 遥感图像; 光谱信息; 形态学建筑物指数; 中值绝对偏差; 训练样本

中图分类号 O433.4

文献标志码 A

doi: 10.3788/LOP202158.1212005

Application of Object-Oriented Median Absolute Deviation Method to Building Extraction

Gong Xunqiang^{1,2*}, Liu Xinglei^{1,3}, Lu Tieding¹, Chen Zhigao¹¹ Faculty of Geomatics, East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013, China;² Research Center for Ecological Civilization Construction System of Jiangxi Province, East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013, China;³ Xi'an Institute of Geotechnical Investigation and Surveying Mapping, Xi'an, Shaanxi 710054, China

Abstract Buildings are extremely important artificial feature objects. Extracting buildings can provide technical support for urban planning, population estimation, and landscape analysis. Object-oriented classification is an effective method for extracting ground objects and has been widely used in the extraction of building information. The object-oriented morphological building index method has good practicability, but the effect of extracting sparse buildings still needs to be improved. To solve this problem, the median absolute deviation is applied to the object-oriented building extraction, and the two situations of dense and sparse buildings are analyzed. Precision, recall, and F_1 score are used to evaluate the extraction results. Experimental results show that the object-oriented median absolute deviation method extracts sparse buildings significantly better than the object-oriented classification and object-oriented morphological building index methods.

Key words measurement; remote sensing image; spectral information; morphological building index; median absolute deviation; training samples

OCIS codes 120.0280; 090.6186; 110.4234; 100.4145

收稿日期: 2020-08-17; 修回日期: 2020-09-14; 录用日期: 2020-10-14

基金项目: 国家自然科学基金(41806114)、江西省自然科学基金(20181BAB216031)、江西生态文明建设制度研究中心开放基金(19GL02)

* E-mail: xqgong1988@163.com

1 引言

遥感技术是一种通过传感器来探测远距离目标的综合性感测技术,广泛应用于自然资源调查、生态环保、国土测绘和自然灾害监测等领域^[1]。随着遥感技术的发展,越来越多的高分辨率遥感图像得到了应用,其可以提供比中、低分辨率图像更加丰富的光谱、空间和纹理特征,可分辨地物内部更为精细的组成,地物的边缘信息也更加清楚。建筑物的提取是一种典型的应用,其精确定位和识别是城市规划、人口估算、景观分析和环境调查的关键信息来源之一^[2-3]。

受到图像背景复杂和建筑物类型多样等因素的影响,使得建筑物的提取精度无法满足应用需求。传统基于像素的分类方法因存在“同物异谱”及“同谱异物”的问题造成分类结果细碎且精度较低,而基于对象的面向对象分类方法具有较好的平滑性^[4-6]。与此同时,基于面向对象的形态学建筑物指数(MBI)^[7-8]、像素形状指数^[9]和建筑物侧面轮廓线^[10]等方法也应运而生。其中形态学建筑物指数因其具有较好的提取率和鲁棒性,在城市建筑物提取中得到了较多应用^[8,11]。此外,在面向对象分类中,训练样本的选择至关重要,其质量直接影响分类结果的准确性^[12]。然而,由于人为错误或有限的计算机识别条件,选择的样本可能为不纯训练样本,从而降低了分类结果的准确性。为了有效改善这一情况,可以使用不确定性信息来剔除不纯训练样本或基于集成的聚类细化方法来提纯训练样本^[13-15]。然而,上述方法通常需要大量的训练样本,导致优化耗时且代价高。鉴于此,本文采用中值绝对偏差(MAD)法来提纯训练样本。

本文将中值绝对偏差应用在面向对象的建筑物提取过程中,分别对建筑物的密集和稀疏两种情况进行分析,并将所提方法与面向对象分类方法和面向对象的形态学建筑物指数法进行比较,使用查准率、查全率和 F_1 分数等指标对提取结果进行评价,探讨形态学建筑物指数法和中值绝对偏差法在不同密度下建筑物提取的适用性。

2 形态学建筑物指数和中值绝对偏差

形态学建筑物指数法和中值绝对偏差法是实验的基础,所以在实验前有必要对这两种方法进行简单介绍。

2.1 形态学建筑物指数法的原理

形态学建筑物指数法的基本思想是建立建筑物

的隐含特征与形态学算子属性之间的关系^[16]。通过在 MBI 特征图像中设定阈值来提取建筑物,并采用形状特征(例如面积和长度比)细化二元建筑物地图,计算步骤如下^[17-18]。

1) 计算亮度:将每个像素点在多光谱带中的最大值设为亮度值,计算公式为

$$b(x) = \max_{1 \leq k \leq K} [M_k(x)], \quad (1)$$

式中: $M_k(x)$ 表示像素点 x 在融合图像中第 k 波段的像素值; $b(x)$ 表示像素点 x 的亮度值; K 表示多光谱波段的总数。

2) 形态学白帽重构:对亮度图像进行顶帽变换以反映建筑物的高对比度特性,计算公式为

$$T_{\text{THR},s}(b) = b - \gamma_{\text{RE},s}(b), \quad (2)$$

式中: s 表示结构元素的尺寸; T_{THR} 表示基于重建的顶帽变换函数; $\gamma_{\text{RE},s}$ 表示基于重建的开运算函数。

3) 多方向性的顶帽变换:对多个方向的线性结构元素进行顶帽变换,用来对建筑物与其他地物进行有效区分,计算公式为

$$\bar{T}_{\text{THR},s}(b) = \text{mean}_D [T_{\text{THR},s,D}(b)], \quad (3)$$

式中: D 表示线性结构元素的方向集合。

4) 多尺度的顶帽变换:高分辨率图像中的建筑物具有不同大小、形状、高度和面积的复杂空间模式,因此可对亮度图像进行多尺度的顶帽变换。多尺度顶帽变换建立在不同的形态学特征上,表达式为

$$T_{\text{THR},\text{DMP}} = \{T_{\text{THR},\text{DMP},s_{\min}}, T_{\text{THR},\text{DMP},s}, T_{\text{THR},\text{DMP},s_{\max}}\}, \quad (4)$$

$$T_{\text{THR},\text{DMP},s} = |\bar{T}_{\text{THR},s+\Delta s}(b) - \bar{T}_{\text{THR},s}(b)|, \quad (5)$$

式中: $T_{\text{THR},\text{DMP},s_{\min}}$ 、 $T_{\text{THR},\text{DMP},s}$ 和 $T_{\text{THR},\text{DMP},s_{\max}}$ 分别表示基于差分形态学建立不同尺寸的线性结构元素的顶帽值, $s_{\min} \leq s \leq s_{\max}$, s_{\min} 和 s_{\max} 分别表示 s 的最小与最大尺寸; Δs 表示尺寸间隔。

5) 形态学建筑物指数的计算:基于以上处理结果定义形态学建筑物指数,计算公式为

$$M_{\text{MBI}} = \text{mean}_s (T_{\text{THR},\text{DMP}}). \quad (6)$$

6) 形态学建筑物指数的后处理:对初步提取结果中的小斑块(如部分道路和类似噪声)使用形状特征进行进一步处理。

2.2 中值绝对偏差原理

在面向对象分类中,分割后的对象可能存在不纯训练样本的情况,致使分类结果变差。如果在分类前计算同一类别所有训练样本的标准差,其中不

纯训练样本的标准差将明显大于该类别中其他训练样本。通过剔除不纯训练样本,就可以达到提纯训练样本的目的。MAD 法具有计算简单和计算时间短的优点,能够较好地解决面向对象分类中含有不纯训练样本的问题。给定 n 个独立随机变量 (X_1, X_2, \dots, X_n) 和相应的观测值 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 可以计算出样本中值,表达式为

$$Z = \text{median}(x_i) \quad (7)$$

如果 n 为奇数,则中值是排序后的中间值,当 n 为偶数时,中值取 $n/2$ 和 $n/2+1$ 的平均值。

基于中值的 MAD 法是由 Hampel^[19] 提出的,其影响函数是有界的,MAD 的表达式为^[20]

$$A_{\text{MAD}} = b \times \text{median} |x_i - \text{median}(x_j)| \quad (8)$$

式中: b 表示常数,通常 $b=1.4826$ 。

计算每个观测值 x_i 的判定系数,可表示为

$$C = \frac{|x_i - \text{median}(x_j)|}{A_{\text{MAD}}} \quad (9)$$

当判定系数大于给定的阈值时,认定该变量 X_i 为异常数据。一般情况下,选择 2.5 为阈值较为合理^[20]。

3 实验与分析

3.1 实验数据

为了验证提出方法的有效性,选用两幅经过大气校正、几何校正和图像融合等处理且空间分辨率为 1 m 的多光谱遥感图像作为数据源,图像拍摄时间分别为 2015 年 9 月 26 日和 2015 年 3 月 21 日。采用的数据来自国产卫星高分二号,其搭载分辨率为 1 m 的全色和分辨率为 4 m 的多光谱相机。两幅遥感图像的尺寸均为 800 pixel \times 800 pixel,分别包含密集型分布的建筑物[图 1(a)]和稀疏型分布的建筑物[图 1(b)],同时还包含道路、植被、水体和裸

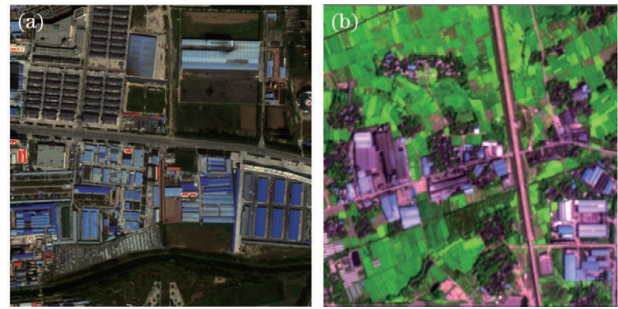


图 1 不同实验区域的高分二号遥感图像。(a)密集建筑物;(b)稀疏建筑物

Fig. 1 GF-2 remote sensing images of different experimental areas. (a) Dense buildings; (b) sparse buildings

地等地物类别。

3.2 实验结果

在建筑物提取实验中,使用 ArcGIS 软件来创建由行数为 15 和列数为 20 的矩形元组成的渔网,基于规则验证点的方式将 300 个样本点均匀分布在实验图像上^[21],并分别采用面向对象分类方法(实验采用的是 K 最近邻法)、面向对象的 MBI 法和面向对象的 MAD 法来提取建筑物。其中面向对象分类方法和面向对象的 MAD 法使用 eCognition 软件中的 K 最近邻分类器,图像分割参数为 30。面向对象的 MBI 法使用的参数:结构元素的尺寸 $s=2$,线性结构元素的方向集合 $D=45^\circ$,尺寸间隔 $\Delta s=5$ 。密集建筑物和稀疏建筑物在不同方法下的提取效果如图 2 和图 3 所示,提取结果如表 1 和表 2 所示。

当建筑物的密集度较高时,面向对象分类方法和面向对象的 MAD 法的提取结果如图 2(a)和图 2(c)所示,从中可以区分出建筑物和非建筑物。从图 2 可以看到,部分建筑物的提取不够完整,面向对象的 MBI 法的提取效果明显优于其他两种方法,如图 2(b)所示。从表 1 可以看到,面向对象的 MBI

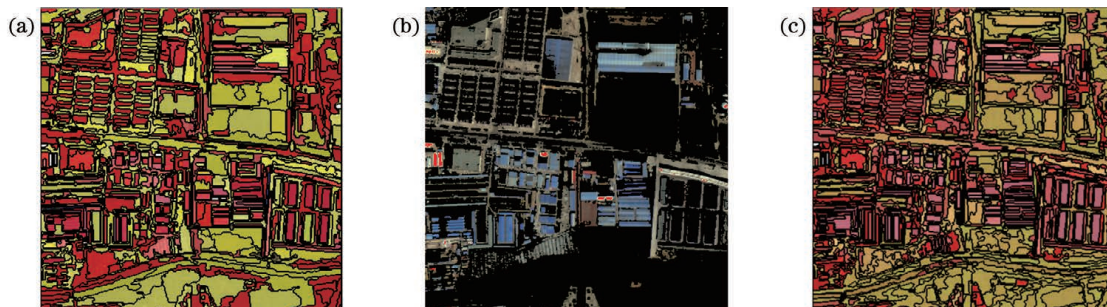


图 2 密集建筑物在不同方法下的提取效果。(a)面向对象分类方法;(b)面向对象的 MBI 方法;(c)面向对象的 MAD 方法

Fig. 2 Extraction effects of dense buildings under different methods. (a) Object-oriented classification method; (b) object-oriented MBI method; (c) object-oriented MAD method

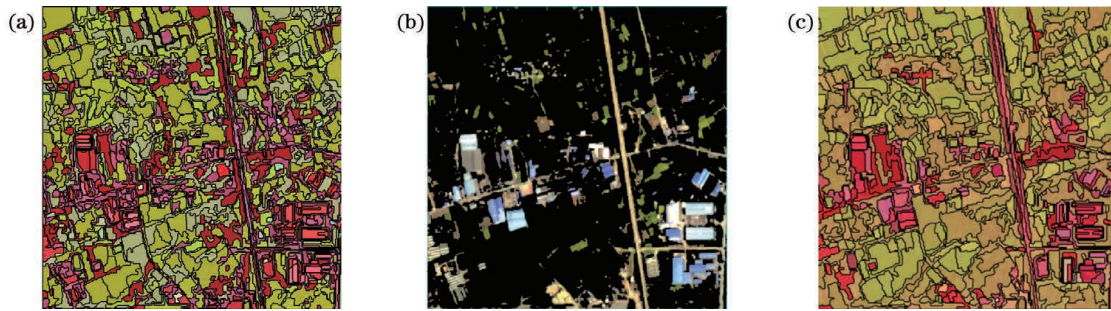


图 3 稀疏建筑物在不同方法下的提取效果。(a)面向对象分类方法;(b)面向对象的 MBI 方法;(c)面向对象的 MAD 方法
Fig. 3 Extraction effects of sparse buildings under different methods. (a) Object-oriented classification method;

(b) object-oriented MBI method; (c) object-oriented MAD method

表 1 密集建筑物在不同方法下的提取结果

Table 1 Extraction results of dense buildings under different methods

Method	Building	Non-building	Misclassification	Total
Object-oriented classification	135	123	42	300
Object-oriented MBI	173	111	16	300
Object-oriented MAD	141	131	28	300

表 2 稀疏建筑物在不同方法下的提取结果

Table 2 Extraction results of sparse buildings under different methods

Method	Building	Non-building	Misclassification	Total
Object-oriented classification	79	185	36	300
Object-oriented MBI	126	148	26	300
Object-oriented MAD	64	226	10	300

法错误提取建筑物的数量为 16,明显少于面向对象分类方法和面向对象的 MAD 法。

3.3 实验分析

为了定量评价三种方法提取建筑物的性能,采用查准率 P 、查全率 R 和 F_1 分数三个定量评价指标^[22]进行评价,计算公式分别为

$$P = \frac{x_{TP}}{x_{TP} + x_{FP}}, \quad (10)$$

$$R = \frac{x_{TP}}{x_{TP} + x_{FN}}, \quad (11)$$

$$F_1 = \frac{2 \times P \times R}{P + R}, \quad (12)$$

式中: x_{TP} 表示人工解译和算法检测都为建筑物的数量; x_{FP} 表示算法检测为建筑物而未被人工解译的数量; x_{FN} 表示人工解译为建筑物而未被算法检测的数量。三个定量评价指标对各组实验中提取建筑物的精度如表 3 和表 4 所示。

从表 3 和表 4 可以看到,对于密集建筑物的提取,面向对象分类方法的查准率为 90.34%,小于面

表 3 密集建筑物在不同方法下的提取精度

Table 3 Extraction accuracy of dense buildings under different methods

Method	$P / \%$	$R / \%$	F_1
Object-oriented classification	90.34	89.12	89.73
Object-oriented MBI	95.63	92.04	93.80
Object-oriented MAD	91.93	90.51	91.21

表 4 稀疏建筑物在不同方法下的提取精度

Table 4 Extraction accuracy of sparse buildings under different methods

Method	$P / \%$	$R / \%$	F_1
Object-oriented classification	88.51	80.83	84.50
Object-oriented MBI	90.54	83.42	86.83
Object-oriented MAD	96.73	92.85	94.75

向对象的 MBI 法(95.63%)和面向对象的 MAD 法(91.93%),而查全率和 F_1 分数在三种方法中最低,说明面向对象分类方法在密集建筑物的提取过

程中的表现最差;面向对象的 MBI 法和面向对象的 MAD 法的三个指标值均优于面向对象分类方法,其中面向对象的 MBI 法的查准率、查全率和 F_1 分数分别为 95.63%、92.04%和 93.80,优于面向对象的 MAD 法的 91.93%、90.51%和 91.21;对于稀疏建筑物的提取,面向对象的 MAD 法的三个指标值均优于面向对象分类方法和面向对象的 MBI 法,其中查准率提高了 8.22 个百分点和 6.19 个百分点,查全率提高了 12.02 个百分点和 9.43 个百分点, F_1 分数提高了 10.25 和 7.92,说明面向对象的 MAD 法相比于面向对象的 MBI 法在稀疏建筑物的提取过程中能够更加完整且准确地提取建筑物信息。

4 结 论

建筑物的提取是遥感信息提取的研究热点之一,采用面向对象的 MAD 法分别提取密集建筑物和稀疏建筑物,并将其与面向对象分类方法和面向对象的 MBI 法进行比较分析,通过查准率、查全率和 F_1 分数等指标对提取结果进行精度评价。实验结果表明,在两组实验中均使用了含不纯训练样本和剔除不纯训练样本,对训练样本进行提纯的面向对象的 MAD 法可以获得较面向对象分类方法更为准确的结果;通过查准率、查全率和 F_1 分数三个定量评价指标对三组方法进行评价,当建筑物的密度较高时,采用面向对象的 MBI 法可以较为准确地提取出完整建筑物,当建筑物比较稀疏时,采用面向对象的 MAD 法优化训练样本后提取的建筑物精度更高,说明面向对象的 MAD 法提取稀疏建筑物的效果更优。

参 考 文 献

- [1] Foody G M. Status of land cover classification accuracy assessment [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 80(1): 185-201.
- [2] Lei Z, Xi X H, Wang C, et al. Building point clouds extraction from airborne LiDAR data based on decision tree method [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2018, 55(8): 082803.
雷钊, 习晓环, 王成, 等. 决策树约束的建筑点云提取方法 [J]. *激光与光电子学进展*, 2018, 55(8): 082803.
- [3] Wang S X, Yang Y W, Chang J X, et al. Optimization of building contours by classifying high-resolution images [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2020, 57(2): 022801.
王双喜, 杨元维, 常京新, 等. 高分辨率影像分类提取建筑物轮廓的优化方法 [J]. *激光与光电子学进展*, 2020, 57(2): 022801.
- [4] Chen F, Yu H M, Hu R. Shape sparse representation for joint object classification and segmentation [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2013, 22(3): 992-1004.
- [5] Sun K, Lu T D. Research on FNEA object-oriented classification based on multi-scale partition parameters [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2018(3): 43-48.
孙坤, 鲁铁定. 顾及多尺度分割参数的 FNEA 面向对象分类 [J]. *测绘通报*, 2018(3): 43-48.
- [6] Wang M, Fan T F, Yun W G, et al. PFWG improved CNN multispectra remote sensing image classification [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2019, 56(3): 031003.
王民, 樊潭飞, 负卫国, 等. PFWG 改进的 CNN 多光谱遥感图像分类 [J]. *激光与光电子学进展*, 2019, 56(3): 031003.
- [7] Huang X, Zhang L P. A multidirectional and multiscale morphological index for automatic building extraction from multispectral GeoEye-1 imagery [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2011, 77(7): 721-732.
- [8] Huang X, Zhang L P. Morphological building/shadow index for building extraction from high-resolution imagery over urban areas [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2012, 5(1): 161-172.
- [9] Zhang H, Shi W Z, Wang Y J, et al. Classification of very high spatial resolution imagery based on a new pixel shape feature set [J]. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2014, 11(5): 940-944.
- [10] Chen H, Zhang K, Su D, et al. Method of building height estimation under the constraint of profile contour lines from high resolution remote sensing images [J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2019(9): 34-37, 72.
陈辉, 张卡, 宿东, 等. 建筑物侧面轮廓线约束的高分辨率遥感影像建筑物高度估算方法 [J]. *测绘通报*, 2019(9): 34-37, 72.
- [11] Huang X, Zhu T T, Zhang L P, et al. A novel building change index for automatic building change detection from high-resolution remote sensing imagery [J]. *Remote Sensing Letters*, 2014, 5(8): 713-722.
- [12] Gong X Q, Shen L, Lu T D. Refining training samples using median absolute deviation for supervised classification of remote sensing images

- [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2019, 47(4): 647-659.
- [13] Büschenfeld T, Ostermann J. Automatic refinement of training data for classification of satellite imagery [J]. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2012, 1-7: 117-122.
- [14] Chellasamy M, Ferré T P A, Greve M H. An ensemble-based training data refinement for automatic crop discrimination using WorldView-2 imagery [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2015, 8(10): 4882-4894.
- [15] Liu Y L, Liu Q G, Zhang M H, et al. IFR-net: iterative feature refinement network for compressed sensing MRI [J]. IEEE Transactions on Computational Imaging, 2020, 6: 434-446.
- [16] Avudaiammal R, Elaveni P, Selvan S, et al. Extraction of buildings in urban area for surface area assessment from satellite imagery based on morphological building index using SVM classifier [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2020, 48: 1325-1344.
- [17] You Y F, Wang S Y, Wang B, et al. Study on hierarchical building extraction from high resolution remote sensing imagery [J]. Journal of Remote Sensing, 2019, 23(1): 125-136.
游永发, 王思远, 王斌, 等. 高分辨率遥感影像建筑物分级提取 [J]. 遥感学报, 2019, 23(1): 125-136.
- [18] Lin X G, Zhang J X. Object-based morphological building index for building extraction from high resolution remote sensing imagery [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46(6): 724-733.
林祥国, 张继贤. 面向对象的形态学建筑物指数及其高分辨率遥感影像建筑物提取应用 [J]. 测绘学报, 2017, 46(6): 724-733.
- [19] Hampel F R. The influence curve and its role in robust estimation [J]. Journal of the American Statistical Association, 1974, 69(346): 383-393.
- [20] Leys C, Ley C, Klein O, et al. Detecting outliers: do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median [J]. Journal of Experimental Social Psychology, 2013, 49(4): 764-766.
- [21] Gong X Q, Liu X L, Lu T D, et al. Accuracy assessment of object-oriented classification based on regular verification points [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2020, 57(24): 241102.
龚循强, 刘星雷, 鲁铁定, 等. 基于规则验证点的面向对象分类精度评价 [J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57(24): 241102.
- [22] Lin Y Z, Zhang B M, Wang D D, et al. Hierarchical building extraction from high resolution remote sensing imagery based on multi-feature fusion [J]. Journal of Image and Graphics, 2017, 22(12): 1798-1808.
林雨准, 张保明, 王丹韵, 等. 多特征融合的高分辨率遥感影像建筑物分级提取 [J]. 中国图象图形学报, 2017, 22(12): 1798-1808.