

引文格式:贾琛,刘欣怡,张永军,等.基准线约束的建筑物立面重复纹理检测[J].测绘通报,2023(3):49-54.DOI:10.13474/j.cnki.11-2246.2023.0071.

基准线约束的建筑物立面重复纹理检测

贾琛¹,刘欣怡¹,张永军¹,祝宪章¹,任维成²,何庆²,冯幼贵²

(1. 武汉大学遥感信息工程学院,湖北武汉430079; 2. 山东正元航空遥感技术有限公司,山东济南250000)

摘要:重复纹理是立面中极为常见的特征之一,从立面图像中自动检测重复纹理结构是建筑物立面分析的一个重要环节。本文提出了一种基准线约束的纹理检测方法,以自动检测重复对象的位置和尺寸。该方法首先采用贝叶斯自适应超像素分割算法构建出超像素邻接图,计算色差后,对墙体进行分离获得候选对象;然后,计算得到候选对象的外接矩形,并从原图中提取出直线段对外接矩形进行约束;最后,基于建筑物立面结构的先验知识对建筑物立面纹理进行修复。试验结果表明,本文方法在检测几何形状为矩形纹理时,可实现对纹理位置和尺寸信息的准确检测,以及被遮挡重复对象的有效修复。

关键词:超像素;色差;线约束;重复纹理检测;纹理修复

中图分类号:P237

文献标识码:A

文章编号:0494-0911(2023)03-0049-06

Repetitive texture detection of building facade constrained by baseline

JIA Chen¹, LIU Xinyi¹, ZHANG Yongjun¹, ZHU Xianzhang¹, REN Weicheng², HE Qing², FENG Yougui²

(1. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

2. Shandong Zhengyuan Aerial Remote Sensing Technology Co., Ltd, Jinan 250000, China)

Abstract: Repeated texture is one of the most important features in building facades. How to automatically detect repeating textures from facade images is an important part of building facade analysis. This paper proposes a new Baseline Constrained Texture Detection Method to automatically detect the exact location and size of repeating objects. The method first uses Bayesian adaptive superpixel segmentation to construct a superpixel adjacency map, and then separates the wall by calculating chromatic aberration to obtain candidate objects. Secondly, extract straight lines from the original image, and perform preprocessing such as normal classification and line segment clustering on the obtained straight lines. Finally, texture repair is performed based on prior knowledge of building facade structure. The experimental results show that the proposed method can effectively detect the position and size information of repeated textures when detecting repeated textures whose geometric shapes are rectangles, and repair the occluded repeated objects.

Key words: superpixel; chromatic aberration; baseline constraint; repeated texture detection; texture repair

建筑物立面是图像处理中非常重要的研究对象之一,是三维重建^[1]、街景重建、光伏安装等非常重要的数据信息来源。其中,立面图像解析的重要任务之一是重复纹理的检测与修复^[2]。检测建筑物立面图像的重复纹理,获得重复对象准确的位置信息与布局规律信息,有助于减少错误的特征匹配^[3]、建筑物立面重建、纹理遮挡修复^[4]等。

目前,立面图像解析的方法主要有基于图像处理和基于语法两种方法^[5]。基于图像处理的方法主要研究图像的视觉特征。利用计算机视觉理论获得图像的颜色、纹理和形状等基本特征。文献^[6]提出一种自动计算框架,获得真实图像中的重

复规律。文献^[7]通过人造建筑物的对称性和正则性信息在解析过程中强制垂直对齐,以此解决遮挡问题并进行立面解析。文献^[8]通过检测正前方对称结构,解决了低分辨率纹理中重复纹理提取及三维几何模型重建的问题。文献^[9]利用窗户可在点云中形成洞的事实检测窗户。然而,已有的图像处理方法更多的是从图像分割的角度出发,对于建筑物重复纹理特征的利用不足。

基于语法的方法利用组合模型表示对象。通过设置模型参数,将立面以参数集的形式分割重建。文献^[10]首先提出使用语法解析立面。文献^[11]使用可逆跳转蒙特卡罗采样算法为简单外观

收稿日期:2022-04-20;修回日期:2023-02-06

基金项目:国家自然科学基金(42201474;41871368)

作者简介:贾琛(1999—),男,硕士生,主要从事三维建模与纹理提取的研究工作。E-mail: 1294184482@qq.com

通信作者:刘欣怡。E-mail: liuxy0319@whu.edu.cn

建立语法。文献[12]提出使用强化学习进行立面分割的形状语法分析,虽取得了良好的效果,但模板设置和立面语法制定均由设计师主观决定。因此,使用单一语法处理不同建筑图像,具有较大的局限性。文献[13]首次将图像分割与语法相结合重建立面。文献[14]使用了三层框架解析立面。随着深度学习的不断发展,全卷积网络等方法也被应用于立面图像解析。

基于图像处理和语法解析的方法在立面解析的研究中取得了较快的发展,但是建筑物图像所含特征利用较少及设计师预先设置解析语法局限性大的问题依旧存在。

针对上述问题,本文使用基于平移对称性和相等性的立面先验知识,针对正面平行的立面影像,提出一种基准线约束的建筑物立面重复纹理检测方法(baseline constrained texture detection method, BCTDM),旨在检测矩形纹理时,实现对纹理位置和尺寸信息的准确检测,以及对被遮挡重复对象的有效修复。

1 重复纹理检测方法

本文将贝叶斯自适应的超像素分割法(Bayesian adaptive superpixel segmentation, BASS)^[15]与色差公式^[16]结合,首次应用于墙体与非墙体分割,并在此基础上提出一种正面平行视图下检测重复结构的方法。该方法的基本思想是用重复对象的基准线约束^[17]重复对象的外接矩形,最终利用人造建筑物特点,从全局的重复对象出发进行纹理修复。具体流程如图1所示。

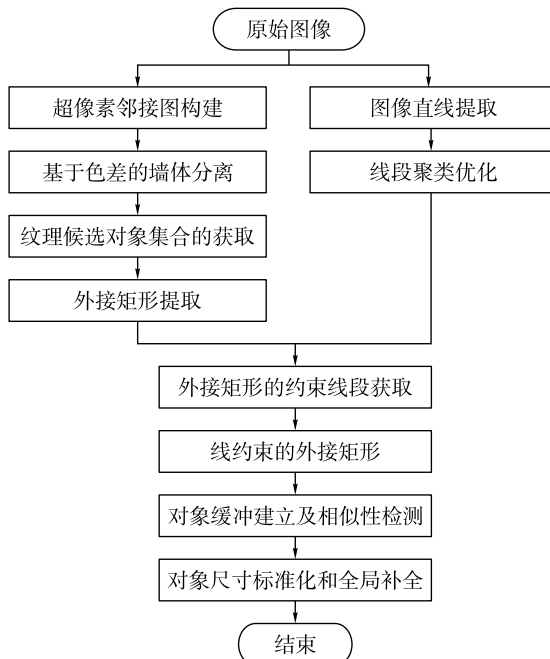
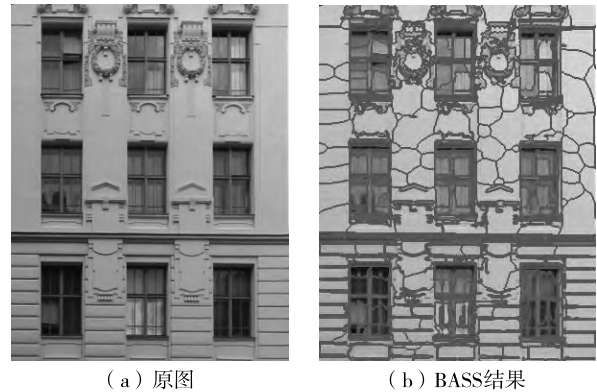


图1 纹理检测流程

1.1 基于超像素和色差的立面分解

1.1.1 超像素邻接图构建

超像素能够保持图像局部结构特征的子区域,具有更好的区域特征表达性质。相较于线性迭代聚类超像素分割^[18],BASS根据图像调整超像素,提供无监督和紧凑的细节,边界分割效果更优,如图2(b)所示。因此,采用BASS处理输入图像,并依据超像素间位置关系建立邻接图。



(a) 原图

(b) BASS结果



(c) 墙体与非墙体分割



(d) 最终候选对象

图2 候选结果生成过程

1.1.2 基于色差的墙体分离

采用色差计算的方法,根据其颜色特征合并超像素结果。其计算表达式为

$$\Delta E_{00}(L_1^*, a_1^*, b_1^*; L_2^*, a_2^*, b_2^*) = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2} \quad (1)$$

式中, L_1^* 、 a_1^* 、 b_1^* 和 L_2^* 、 a_2^* 、 b_2^* 分别表示 Lab 颜色空间中两个像素点的通道值; $\Delta L'$ 、 $\Delta C'$ 、 $\Delta H'$ 分别表示明度差、采度差、色相差; k_L 、 k_C 、 k_H 为试验条件校正参数; S_L 、 S_C 、 S_H 为权重函数; R_T 为旋转函数。

用每个超像素内部像素点在 Lab 颜色空间下的均值代表该超像素。基于色差公式计算相邻超像素之间的色差,将色差小于阈值 T 的超像素标

记为同一类像素。完成色差计算后,首先使用区域增长的方法,合并含有双重标记的超像素及其同类像素,获得同类超像素的集合 $S_{all} = \{S_1, S_2, \dots\}$ 。然后将 S_{all} 内含有集合 S_{bound} 元素的超像素集合进行合并,获得墙体的超像素集合 S_{wall} , 将剩余的集合合并为一个超像素集合 S_{unwall} , 如图 2 (c)、(d) 所示。

1.1.3 立面分解优化

非墙体超像素集合被认为是重复纹理对象的超像素集合。随机选择种子点,对该集合内部的超像素进行区域增长,将该集合内所有超像素增长归类后,获得候选对象集合。

对于某些图像,基于 BASS 会出现过分割。墙体提取后,明显发现某些区域合并获得的候选对象出现过连接现象,不同纹理对象被细小的过分割线连接在一起。为了更好地获得重复纹理对象,本文采用腐蚀操作对候选对象进行分割,如图 3 所示。

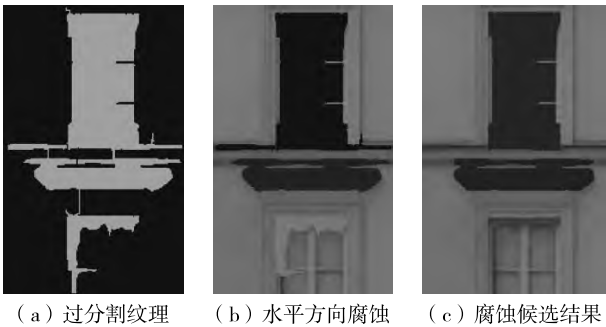


图3 候选结果选取

1.2 基于基准线约束的重复纹理提取

1.2.1 直线提取

直线提取算法(line segment detector, LSD)^[19]可以稳健提取灰度图上的线段特征,获得线结果后,移除其中的斜线和边界线,保证剩余的线段基本保持水平与竖直,然后根据夹角将其分为竖线集合 L_v 和水平线集合 L_h 。

1.2.2 线段聚类与外接矩形提取

由于 LSD 算法得到的线段较琐碎,需对其进行合并,以获得更加贴近重复纹理边界的线段。针对 L_v 和 L_h 内的线段采取合并端点间距离较近线及线段间距离较近线的处理策略,合并阈值为 γ , 获得最终线段集合 $L_{v'}$ 和 $L_{h'}$ 。

针对 S_{candi} 内部每个候选对象提取轮廓外接矩形 R , 其所在位置即为一个重复纹理对象的位置。通过该外接矩形结合线段集合 $L_{v'}$ 和 $L_{h'}$, 获得与该

外接矩形 R 有交集的线集合 $L_{v'}$ 和 $L_{h'}$ 。若该线段的中点和任一端点位于矩形内部,则该线为矩形交线。

1.2.3 最大外接矩形正则化

利用约束直线集约束最大外接矩形,获得约束后的矩形集合 S_R 。竖线和水平线的约束采取相似的策略。以竖线的约束为例,矩形表示一个候选对象的外接矩形 R , 其高度为 h , 宽度为 W , 其中一条约束竖线的长度为 l , 与 R 的各向距离分别为 Δ_1 、 Δ_2 、 Δ_3 。若 $\Delta_3 > \varepsilon$ 且 $\Delta_4 > 3\Delta_3$ 且 $|h - l| < \varepsilon$, 则矩形 R 的左边界以直线基准调整, 如图 4 所示。

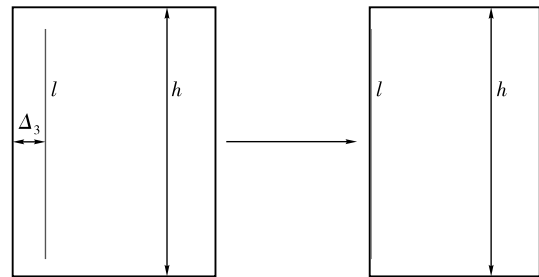


图4 以直线位置为基准约束矩形

若 $(\Delta_1 > \varepsilon \&\& \Delta_2 < \varepsilon) \parallel (\Delta_1 < \varepsilon \&\& \Delta_2 > \varepsilon)$ 且 $\Delta_3 < \varepsilon \parallel (w - \Delta_3) \approx \Delta_3$, 则矩形 R 的上下边界以直线端点为基准调整, 如图 5 所示。

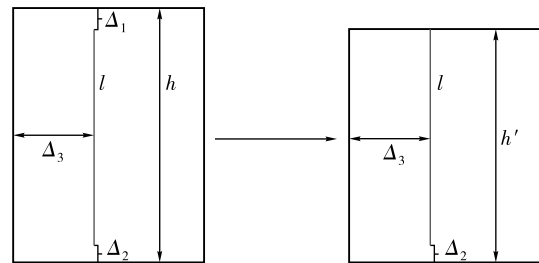


图5 以直线端点为基准约束矩形

若 $(w - \Delta_4) < \varepsilon \&\& \text{num}_{L_{v'}} = 0$ 且 $((h - l) < \varepsilon) \&\& ((h - l_2) < \varepsilon)$, 则矩形 R 的左右边界以两条竖线所在竖直位置为基准调整, 如图 6 所示。 $\text{num}_{L_{v'}}$ 表示可约束矩形 R 的处理后水平直线的数量。

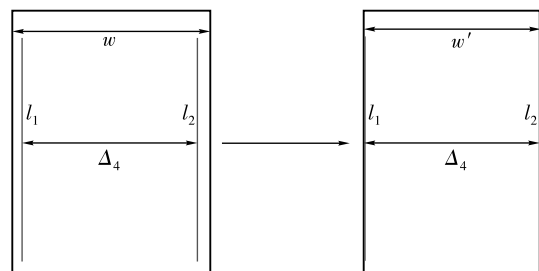


图6 无水平线以两条竖直直线为基准约束矩形

1.3 基于先验知识的纹理修补

人造建筑物的立面图像一般情况下都具有一定的特征,如建筑物的窗户大多数为矩形,对称和重复是建筑物中的常见特征。因此,可利用多种先验知识调整和修补全局的重复纹理提取结果。本文先验知识主要有两条:①每行提取的重复纹理对象的尺寸相等;②每列拥有的重复纹理对象的个数相等。

整张图片的行相同结果检测方法是对一个矩形对象建立缓冲范围,缓冲大小为 μ ,若另一对象位于该范围内,则认为两者相似,如图7所示。

由于经过线约束的矩形对象所在行对象间可能不相似,构成的网格内对象的中心点排列不整齐,因此需进行调整。具体方法为:①计算每行水平坐标基准 \bar{X}_s ;②计算行相似的行内所有对象的标准尺寸 $\{w_s, h_s\}$;③以行元素最多的行内对象竖直坐标作为竖直坐标基准 \bar{Y}_s ,若在该行某个位置缺失对象,则从其相似行或该位置含有对象且该行对象最多的行的对应位置获取。计算公式为

$$\bar{X}_s = \frac{\sum_{i=0}^k \sum_j^4 r_{ij} \cdot x}{4k} \quad r_{ij} \in R_{L\text{similar}} \quad (2)$$

$$\{w_s, h_s\} = \left\{ \frac{\sum_{i=0}^k w_i}{N}, \frac{\sum_{i=0}^k h_i}{N} \right\} \quad w_i \in W_{\text{similar}}, h_i \in H_{\text{similar}} \quad (3)$$

式中, $r_{ij} \cdot x$ 为矩形对象的水平坐标值; $R_{L\text{similar}}$ 为该行内所有相似的对象集合; w_i, h_i 分别为矩形对象的宽和高; $W_{\text{similar}}, H_{\text{similar}}, N$ 分别为相似行内所有相似对象的宽和高的集合及相似对象的数量。

根据计算获得每行的 (\bar{X}_s, \bar{Y}_s) 和 $\{w_s, h_s\}$,对该行的重复对象进行调整,调整之后可获得每行的标准对象,此时更新之前构成的网格,可解决排列不整齐的问题。

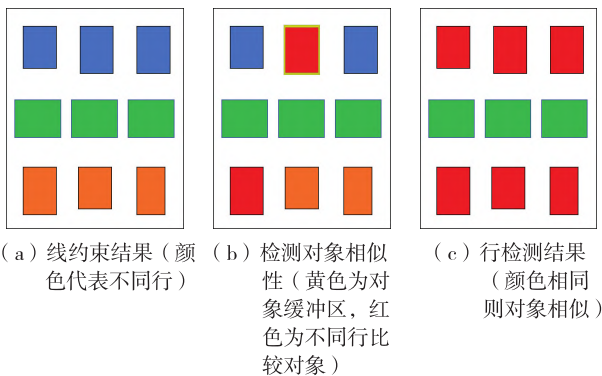


图7 对象相似性检测

2 试验与结果分析

从开源CMP数据集和ECP数据集中选取多张具有代表性的图像构成本文数据集。数据集经过预处理后,为其创建了真实的重复纹理标签,如图8(e)所示。经过多次试验,线距离阈值 γ 设置为5像素、线约束阈值 ε 设置为3像素、矩形缓冲阈值 μ 为3像素时,试验整体取得最优结果。

本文BCTDM方法的部分测试结果如图8所示。图8中,每行代表一个测试图像。每行从左到右分别为立面分解结果、线处理结果、外接矩形提取结果、纹理检测结果和真实结果。立面解析结果中候选对象由不同颜色区分,可以直观地发现不同的图片提取结果存在较大差异。由图8(a)立面分解结果可以清楚地发现,部分候选重复纹理未被准确获得,验证了纹理修复的必要性。由图8(b)可知,LSD线提取结果线段琐碎且冗余,需要针对LSD线处理,从处理结果可以发现,最终保留的线基本为重复对象的边界线,验证了线约束时基准线的有效性。由于获得的外接矩形对象和实际纹理对象的尺寸不仅存在放大情况,也存在缩小情况,如图8(c)所示,验证了线约束时线的必要性。由纹理检测结果和真实结果的对比可知(如图8(d)、(e)所示),本文提出的线约束方法可将外接矩形大小问题最优处理。

为了进一步验证本文提出的BCTDM方法的效果,将其分别与基于马尔可夫随机场自动提取真实图像规律的方法(mean-shift belief propagation, MSBP)和基于强化学习的形状语法解析的方法(a grammar parser for shapes, GraPes)进行对比,具体结果如图9所示,并以检全率和准确率定量比较,具体结果见表1。

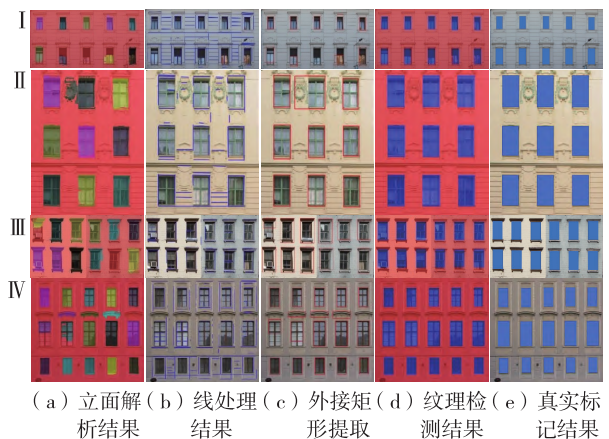


图8 BCTDM方法测试结果

表1 两种方法定量计算结果 (%)

行数	检全率			准确率	
	MSBP	GraPes	BCTDM	GraPes	BCTDM
1	80.00	13.33	100.00	10.24	95.56
2	72.22	83.33	100.00	78.57	92.67
3	61.11	0.00	100.00	16.67	87.45
4	62.50	66.67	100.00	70.83	96.33
5	75.00	75.00	100.00	56.25	98.67

图9中每行代表不同类型的测试图,由图9 I、II两行测试图可发现,针对含有部分遮挡的图像,本文结果可以获得相对准确结果,而MSBP方法会出现检测遗漏情况,GraPes出现检测错误情况;由图9 III行测试图可知,针对光照影响的图像,BCTDM方法可获得粗略的检测结果,MSBP方法由于其局限性而出现漏检,GraPes方法则无法处理此种情况;由图9 IV、V两行的测试图可发现,针对含有不同尺寸大小的需检测的纹理对象,BCTDM方法可以准确地检测,MSBP方法依旧会出现一定程度的漏检,而GraPes方法会出现将对象尺寸统一的情况或者出现错检。并且在图像处理的过程之中,针对不同大小的测试图BCTDM算法的处理速度明显优于对比方法。综合可知,本文所提的基于线约束的重复纹理检测方法具有一定的有效性。

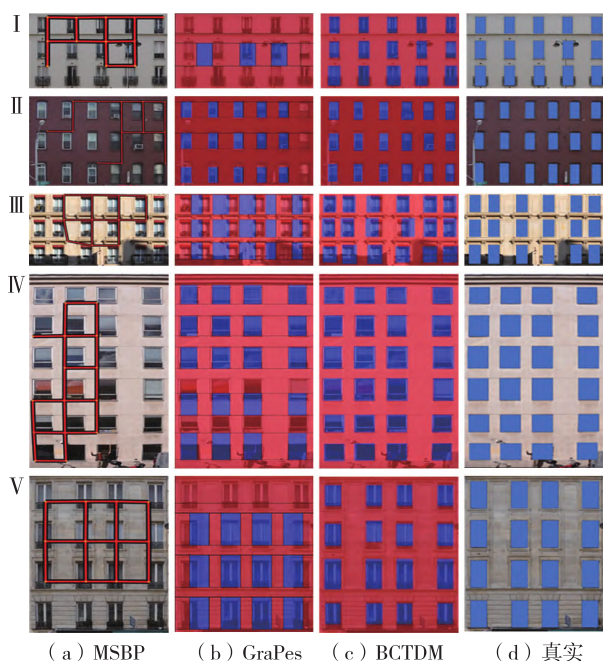


图9 对比结果

检全率表示检测出准确位置的重复对象数量占全部重复对象位置数量的比例,准确率表示检测的重复对象像素点数量占真实对象像素数量的比

例。由表1可知,两种对比方法结果和BCTDM方法获得的结果相比,本文算法占有一定的优势。

试验发现,常见立面重复对象可以被BCTDM算法提取。但是,对于过于复杂的情况BCTDM算法结果会出现一定的错检或检测不准确,如图10(a)所示,此图受光照、遮挡和复杂底部情况多种因素影响,造成检测失败;对于不符合本文所用先验知识的立面检测也会出现一定的错误,如图10(b)所示,该立面不符合每行提取的重复纹理对象的尺寸相等的先验知识,造成右下角检测错误。

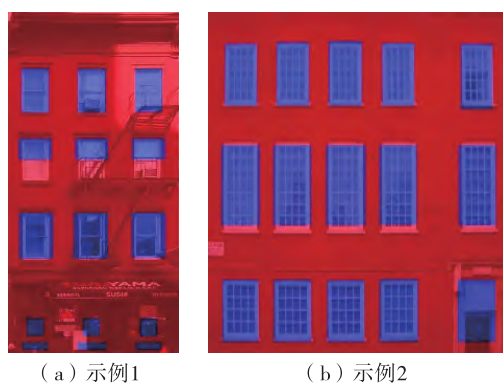


图10 BCTDM方法瑕疵结果

3 结 语

针对图像处理和形状语法解析方法的局限性,本文提出了一种基准线约束的重复纹理检测方法,用于建筑物立面重复纹理进行检测和修复。该方法首次将贝叶斯自适应的超像素分割方法和色差公式应用于立面解析,并将直线特征作为约束条件应用到纹理提取中。试验结果表明,本文方法不需要复杂数据训练和语法设计就可获得较好的重复纹理提取结果,且对不同环境的图像有较好的适用性。不足的是,该方法局限于边界特征为矩形的重复纹理结构,并且在一定程度上依赖于超像素分割的结果。如何针对任意形状对象检测和利用更少先验知识是未来进一步的研究方向。

参考文献:

- [1] 张永军,张祖勋,龚健雅.天空地多源遥感数据的广义摄影测量学[J].测绘学报,2021,50(1):1-11.
- [2] ZHAO P, FANG T, XIAO J, et al. Rectilinear parsing of architecture in urban environment[C]//Proceedings of 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Francisco: IEEE, 2010: 342-349.
- [3] 严少华,陈敏,赵怡涛,等.局部结构约束下的宽基

- 线影像直线特征匹配[J]. 测绘通报, 2020(5): 51-54.
- [4] XIAO H F, MENG G F, WANG L F, et al. Facade repetition detection in a fronto-parallel view with fiducial lines extraction [J]. *Neurocomputing*, 2018, 273: 435-447.
- [5] WANG Yuefeng, FAN Hongchao, ZHOU Guoqing. Reconstructing facade semantic models using hierarchical topological graphs[J]. *Transactions in GIS*, 2020, 24(4): 1073-1097.
- [6] PARK M, BROCKLEHURST K, COLLINS R T, et al. Deformed lattice detection in real-world images using mean-shift belief propagation[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2009, 31(10): 1804-1816.
- [7] COHEN A, OSWALD M R, LIU Yanxi, et al. Symmetry-aware façade parsing with occlusions [C]// *Proceedings of 2018 International Conference on 3D Vision (3DV)*. Qingdao: IEEE, 2018: 393-401.
- [8] MÜLLER P, ZENG Gang, WONKA P, et al. Image-based procedural modeling of facades [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2007, 26(3): 1-9.
- [9] Yongzhi, Wang. Accurate facade feature extraction method for buildings from three-dimensional point cloud data considering structural information [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2018, 139: 146-153.
- [10] ALEGRE F, DELLAERT F. A probabilistic approach to the semantic interpretation of building facades[EB/OL]. [2022-03-12]. https://www.researchgate.net/publication/27521955_A_Probabilistic_Approach_to_the_Semantic_Interpretation_of_Building_Facades.
- [11] TYLEČEK R, ŠÁRA R. A weak structure model for regular pattern recognition applied to facade images [C]// *Proceedings of the 10th Asian conference on Computer vision-Volume Part I*. Queenstown, New Zealand: ACM, 2010: 450-463.
- [12] TEBOUL O, KOKKINOS I, SIMON L, et al. Shape grammar parsing via reinforcement learning [C]// *Proceedings of 2011 CVPR*. Colorado Springs, CO: IEEE, 2011: 2273-2280.
- [13] BECKER S. Generation and application of rules for quality dependent façade reconstruction [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2009, 64(6): 640-653.
- [14] MATHIAS M, MARTINOVIĆ A, VAN GOOL L. ATLAS: a three-layered approach to facade parsing[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2016, 118(1): 22-48.
- [15] UZIEL R, RONEN M, FREIFELD O. Bayesian adaptive superpixel segmentation [C]// *Proceedings of 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*. Seoul, Korea (South): IEEE, 2020: 8469-8478.
- [16] SHARMA G, WU W, DALAL E N. The CIEDE2000 color-difference formula: implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations [J]. *Color Research & Application*, 2005, 30(1): 21-30.
- [17] 张永军, 万一, 史文中, 等. 多源卫星影像的摄影测量遥感智能处理技术框架与初步实践[J]. *测绘学报*, 2021, 50(8): 1068-1083.
- [18] ACHANTA R, SHAJI A, SMITH K, et al. SLIC superpixels compared to state-of-the-art superpixel methods[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2012, 34(11): 2274-2282.
- [19] GROMPONE VON GIOI R, JAKUBOWICZ J, MOREL J M, et al. LSD: a fast line segment detector with a false detection control [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2010, 32(4): 722-732.

(责任编辑:杨瑞芳)