

# 利用像素高度图的三维建筑物屋顶和立面提取方法

黄敏儿<sup>1</sup> 杜志强<sup>1</sup> 朱庆<sup>1,2</sup> 张叶廷<sup>1</sup> 胡翰<sup>1</sup>

1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079

2 西南交通大学地球科学与环境工程学院,四川 成都,611756

**摘要:**针对三维建筑物屋顶和立面目标的自动提取难题,提出了一种利用倾斜影像生成的像素高度图来识别和提取三维建筑物目标的方法,根据高度图的梯度特征提取垂直立面目标,根据高度图的最大熵阈值特征提取屋顶目标。采用多角度面阵数字航空相机获取的倾斜影像数据进行实验,验证了本文方法的正确性与有效性。

**关键词:**倾斜影像;建筑物;像素高度图;梯度;最大熵阈值

中图法分类号:P231.5

文献标志码:A

精细的建筑物屋顶和立面三维重建是数字城市建设的难点内容之一,倾斜摄影测量为此提供了最有潜力的自动化手段。通过在同一飞行平台上搭载多个角度的相机,可以同时从垂直、倾斜等多个不同的角度获取同一目标的影像,突破了传统航空摄影主要从垂直视角拍摄的局限。倾斜影像弥补了传统航空影像遮挡严重、缺乏立面信息等缺陷,为建筑物三维精细结构的识别与提取提供了丰富的光谱、纹理、形状和上下文等信息<sup>[1-3]</sup>。

从倾斜影像提取三维建筑物目标的方法可以归纳为以下两类:①直接二维影像分割方法<sup>[2,4]</sup>。该方法利用影像灰度、纹理、边缘、形状、类间相关等特征信息直接提取目标。由于受环境光照、阴影和遮挡等因素的影响,只利用单一的二维影像难以完整、准确、可靠地提取建筑物屋顶和立面信息。②间接利用点云、深度图等倾斜影像中间产品的方法。基于3D点云的方法<sup>[5-9]</sup>是通过影像密集匹配得到3D点云数据,在此基础上提取三维建筑物目标。由于点云密度不均匀、房屋结构边缘处存在数据丢失及缺乏必要的语义信息等,加之点云数据存在大量噪声,导致仅从点云数据中提取三维建筑物的精细结构十分困难。基于深度图的提取方法<sup>[10,11]</sup>是经过影像密集匹配得到视差图,进而生成反映空间物体纵深关系的深度图。由于屋顶与立面等建筑物重要的结构特征在以相机为中心的深度空间中常常交叉混合,

难以有效识别,为此,本文充分利用倾斜影像中建筑物屋顶和立面丰富的二维影像特征和三维语义特征,通过倾斜影像密集匹配得到以建筑物为中心统一的像素高度图,并基于像素高度图提取三维建筑物屋顶和立面。

## 1 基于像素高度图提取三维建筑物屋顶和立面目标的原理

基于像素高度图提取三维建筑物屋顶和立面目标的基本原理如图1所示。主要包括四个处理环节:高度图的生成、背景消除、建筑物目标分割与提取。

### 1.1 像素高度图的生成

像素高度图将地形地物表面的高程值映射到影像平面,保持了影像良好的成像关系,同时又具有三维高度信息,有利于充分利用二维的影像特征和三维的建筑物结构特征的优点。

像素高度图是指将影像每个像素对应物方空间点的高程信息映射为灰阶值而生成的图像,函数表达如下:

$$H = f(i, j, Z) \quad (1)$$

其中, $H$ 为像素高度对应的灰阶值, $H \in (0, 255)$ ;  $f$ 为映射关系; $i, j$ 为行和列; $Z$ 为像素对应物方空间点的真实高程值。如图2所示,高度越高,颜色越亮。

收稿日期:2013-05-07

项目来源:国家863计划资助项目(2012AA121305);国家自然科学基金资助项目(41171311)。

第一作者:黄敏儿,硕士。现从事倾斜影像建筑物信息提取与分析研究。E-mail: xiaomin@qq.com

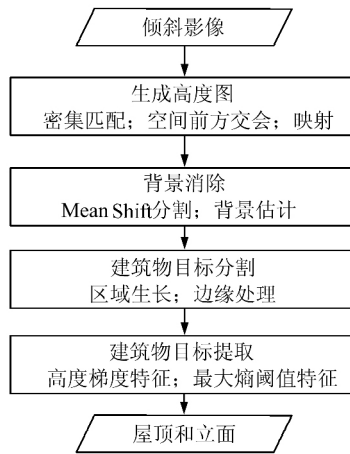


图1 算法流程图

Fig. 1 Processing Workflow

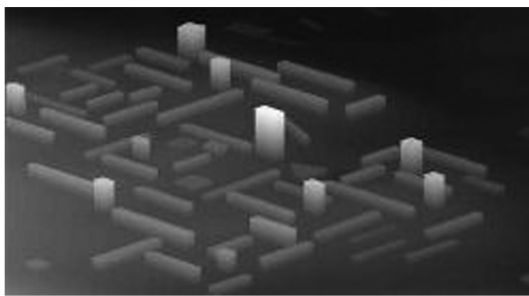


图2 典型的建筑物像素高度图

Fig. 2 Typical Pixel Height Map

像素高度图的生成过程如下:由倾斜影像密集匹配得到若干点的左右视差,经过空间前方交会计算得到每个点的高程<sup>[12,13]</sup>;然后再将每个点的高程映射为灰阶,并与原始影像建立一一对应关系,最后生成像素高度图。

### 1.2 背景消除

由于像素高度图中包含建筑物、植被、道路等多种地物类型,对建筑物目标提取产生干扰,所以先通过预处理将建筑物与植被、道路等背景地物分开,为后续屋顶和立面的提取奠定基础。

像素高度图背景消除的基本依据是建筑物要高于周围的地形表面。在像素高度图中,建筑物灰度值比道路、植被等背景元素亮。首先利用 Mean Shift 算法对原始像素高度图进行影像初次分割,生成影像对象,然后进行数学形态学处理,得到由植被、道路、其他类型等影像对象组成的背景图,最后与原图进行差操作,最终得到只含有建筑物的像素高度图,结果如图 3 所示。

### 1.3 三维建筑物目标分割

由于影像匹配失败等原因,像素高度图常会存在裂缝或孔洞,为了提高特征提取的精度,先对像素高度图填补漏洞、去噪和增强处理,结果如图

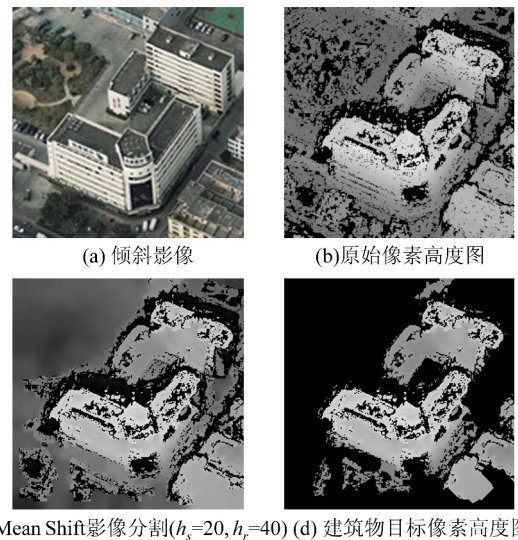


图3 像素高度图的背景消除

Fig. 3 Background Removal

4(a)所示。

在建筑物的像素高度图中,屋顶的高度相对周围地形较高且比较平坦,所以灰阶值较大且比较均匀,整体的相似度较高,立面的灰阶值则沿屋檐垂直方向存在渐变,沿屋檐方向的整体相似度较高。为此,利用区域生长方法实现屋顶和立面的建筑物目标分割。针对分割区域,用 Canny 边缘处理算子突出屋顶边缘,并且除去屋顶和立面中零碎区域产生的小边界,结果如图 4 所示。

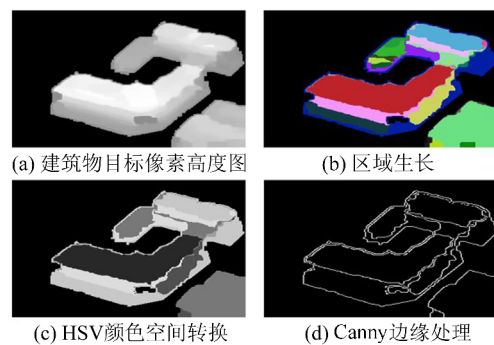


图4 区域与边缘结合的建筑物目标分割

Fig. 4 Image Segmentation Combining Region Growing and Edge Extraction

### 1.4 三维建筑物目标提取

#### 1) 利用高度梯度特征提取立面

利用像素高度梯度提取建筑物立面的方法基于一个简单的事实,在 3D 物体空间中,一般建筑物的立面都是垂直平面,且立面物体点的高度沿垂直方向逐渐降低,在梯度上表现为沿垂直方向存在跳跃。然而,由于屋顶的高度变化较小,导致其不存在或者存在缓慢的梯度变化,与其相比,垂直立面表现出强烈的高度梯度变化<sup>[3]</sup>。本文选择

Laplace 算子计算梯度。Laplace 算子对于背景与建筑物外轮廓的阶跃边缘以及屋顶和立面间的屋顶边缘的检测具有优势,更重要的是,Laplace 算子对立面微小的高度变化敏感,可以突出垂直立面存在高度渐变的特性。因此,利用 Laplace 算子计算像素高度图的梯度,以像素的梯度值形成图像,称为高度梯度图,见图 5(a)和 5(b)。

立面的高度梯度比地面或者屋顶的大,所以假设高度梯度图中的值与图像中立面区域的可能性有极大的正相关关系,即某像素区域存在高度梯度值,则此像素区域可能为立面区域;或某像素区域的高度梯度值越大,则此像素区域为立面区域的可能性就越大,借此提取建筑物立面。

## 2) 利用高度最大熵阈值特征提取屋顶

在只包含建筑物目标的像素高度图中,屋顶高度较大,数值大小均一,而立面的高度则存在强烈的变化,数值大小差异大。根据屋顶和立面高度具有较大差别这个事实,把屋顶当成目标,立面当成背景,通过计算像素高度图的最大熵值特征,然后进行阈值分割,将屋顶目标从立面背景中分割出来,达到提取屋顶的目的。

图像中,熵代表信息量的大小,理论上是个像素的平均信息量。若图像中包含目标,在目标和背景可分割的交界处,信息量最大,即熵最大,通过最大熵阈值分割就可将目标从背景中分割出来。现将屋顶当成目标,立面当成背景,利用像素高度图的灰度直方图的熵来自动获取阈值,以使熵值最大的灰度值为阈值,比阈值大的像素点认为是屋顶目标;反之,比其小的像素点为立面背景,然后进行分割,以提取屋顶目标。

## 2 实验分析及结语

本研究以北京四维远见公司的多角度面阵数字航空相机(SWDC-5)获取的广东阳江倾斜影像为实验数据(见图 3(a)),借助 OpenCV1.0 图像处理算法库,实现利用倾斜影像像素高度图识别和提取三维建筑物屋顶和立面。

实验分析发现,高度梯度图(见图5(a)和 5(b))中的值与图像中立面区域的可能性有极大的正相关关系,即某像素区域存在高度梯度值,则此像素区域可能为立面区域;或某像素区域的高度梯度值越大,则此像素区域为立面区域的可能性就越大。由图 5(d)可知,最大熵阈值特征可以消除屋顶梯度的干扰,获得连续的屋顶区域,抑制了由屋顶的石墩、栏杆、空调外机等引起的梯度突变。

在实验数据处理过程中发现,在高度梯度图中,立面区域存在零梯度值,零梯度值范围较大且离散,对立面提取产生干扰,所以利用形态学操作填补这些小孔洞,结果见图 5(b)。将最大熵阈值分割图取反,得到的结果见图5(d),黑色像素(灰度值为 0)区域代表屋顶。将图 5(b)与图 5(d)进行“按位与”,生成立面区域灰度图,结果如图5(c)所示。

从以上的结果可以看出,通过利用像素高度信息的梯度特征与最大熵阈值特征,成功地提取了三维建筑物屋顶与立面,实现了利用倾斜影像像素高度信息进行三维建筑物目标的识别和提取,从而验证了本文方法的正确性与可行性。

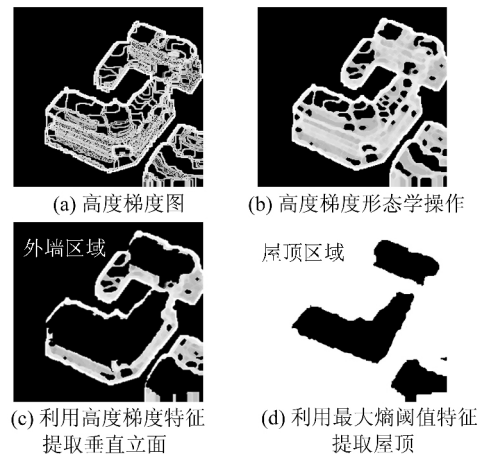


图 5 三维建筑物目标提取实验结果

Fig. 5 Results of 3D Building Objects Extraction

本文针对建筑物屋顶和立面三维目标自动提取的难点问题,提出了一种基于像素高度图的有效提取方法。进一步的工作将深入分析高度图隐含的其他信息,如法向量、曲率特征等,优化过提取、误提取、边缘不规整等问题。

致谢:感谢武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室江万寿教授和张靖博士提供的帮助。

## 参 考 文 献

- [1] Wang Wei, Huang Wenwen, Zhen Jiao. Pictometry Oblique Photography Technique and Its Application in 3D City Modeling[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2011, 34(3): 181-183(王伟,黄雯雯,镇姣. Pictometry 倾斜摄影技术及其在 3 维城市建模中的应用[J]. *测绘与空间地理信息*, 2011, 34(3): 181-183)
- [2] Gerke M, Kerle N. Automatic Structural Seismic Damage Assessment with Airborne Oblique Pictometry (c) Imagery[J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2011, 77(9SD): 885-898
- [3] Xiao J, Gerke M, Vosselman G. Building Extrac-

- tion from Oblique Airborne Imagery Based on Robust Façade Detection[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2012, 68: 56-68
- [4] Zeng Tao, Yang Wunian, Li Xiaodong, et al. Information Extraction of Object Oriented High Resolution Remote Sensing Image: A Case Study on Urban Damaged Buildings in Wenchuan Earthquake [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2010, 19(5): 81-87(曾涛,杨武年,黎小东,等. 面向对象的高空间分辨率遥感影像信息提取——汶川地震城市震害房屋案例研究[J]. *自然灾害学报*, 2010, 19(5): 81-87)
- [5] Zhan Qingming, Zhou Xingang, Xiao Yinhui, et al. Comparison of Linear and Circular Feature Extraction Methods Based on Laser Point Clouds of an Ancient Architecture[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2011, 36(6): 674-677(詹庆明,周新刚,肖映辉,等. 从激光点云中提取古建筑线性和圆形特征比较[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2011, 36(6): 674-677)
- [6] Liu Y, Song S. Complex Building Reconstruction Based on Multi-source Data[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2011, 36(7): 780-784
- [7] Ma W, Yue J, Cao S. Automatic Building Edge Extraction from LiDAR Data Based on Images Segmentation[C]. International Symposium on LiDAR and Radar Mapping 2011: Technologies and Applications, Nanjing, China, 2011
- [8] Luan Q, Ye C, Long J. Review of Buildings Information Extraction Based on Single High-resolution Remote Sensing Images[C]. 2010 3rd International Congress on Image and Signal Processing, Yantai, China, 2010
- [9] Weian W, Bo Z, Jue L, et al. A Method of Deriving Features of Building from LiDAR Point Clouds in Urban Area[C]. 2009 Joint Urban Remote Sensing Event, Shanghai, China, 2009
- [10] Lee C H, Lim Y C, Kwon S, et al. Stereo Vision-based Obstacle Detection Using Dense Disparity Map[C]. International Conference on Graphic and Image Processing (ICGIP 2011), Cairo, Egypt, 2011
- [11] Woo D M, Park D C, Han S S. Extraction of 3D Line Segment Using Disparity Map[C]. International Conference on Digital Image Processing, Proceedings, Bangkok, Thailand, 2009
- [12] Gerke M. Dense Matching in High Resolution Oblique Airborne Images[C]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Paris, France, 2009
- [13] Le Besnerais G, Sanfourche M, Champagnat F. Dense Height Map Estimation from Oblique Aerial Image Sequences[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2008, 109(2): 204-225

### 3D Building Facades and Roofs Objects Extraction from Pixel Height Map

HUANG Min'er<sup>1</sup> DU Zhiqiang<sup>1</sup> ZHU Qing<sup>1,2</sup> ZHANG Yeting<sup>1</sup> HU Han<sup>1</sup>

1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China

2 Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China

**Abstract:** Aiming at the critical issues in automatic 3D building facades and roofs extraction, a preliminary 3D building object extraction algorithm from a pixel height map, derived from the oblique airborne imagery through dense matching, was therefore designed and implemented. Based on the knowledge of building structure and surface shapes, this method takes full advantage of the height gradient feature to extract the facades, while at the same time uses the maximum entropy threshold feature to extract the roof surfaces. Multi-angle digital aerial images are employed for experimental analysis; the results show that 3D building objects with complex shape can be detected and extracted reliably from pixel height maps.

**Key words:** oblique airborne imagery; 3D building objects; pixel height map; gradient; maximum entropy threshold

**First author:** HUANG Min'er, master, specializes in building extraction from oblique airborne imagery. E-mail: xiaomin@qq.com

**Foundation support:** The National 863 Program of China, No. 2012AA121305; the National Natural Science Foundation of China, No. 41171311.