

# 基于高精度 DSM 的建筑物三维几何模型构建

曹敏<sup>1</sup>, 史照良<sup>2</sup>, 沈泉飞<sup>3</sup>

(1. 南京师范大学地理科学学院, 江苏南京 210046; 2. 江苏省测绘局, 江苏南京 210000;  
3. 江苏省基础地理信息中心, 江苏南京 210013)

## Reconstruction of 3D Building Geometrical Model Based on High-precision DSM

CAO Min, SHI Zhaoliang, SHEN Quanfei

**摘要:**随着测绘技术的不断进步, 高精度 DSM 已经成为重要的测绘成果, DSM 影像上建筑物区域与其周围背景有着显著差异, 并且有着相对规则的建筑物边缘。根据边缘 NSCT 系数特点, 提出一种有效的 DSM 影像建筑物边缘检测算法, 在高、低频系数上采用不同方法对建筑物边缘进行检测, 利用两类边缘互相补偿校正, 能有效提取图像的轮廓特征信息。在获得房屋轮廓线的基础上, 对轮廓线围成的房屋区域各点的表面法向量进行统计分析, 重构坡面屋顶三维几何模型, 实现建筑物的三维模型快速重构。

**关键词:** DSM; 三维重构; 边缘检测; 建筑物

### 一、引言

随着信息化测绘的不断推进, 利用摄影测量法和激光雷达扫描技术(LiDAR)都可以获得高精度测绘成果数字表面模型(digital surface model, DSM)<sup>[1]</sup>, DSM 影像中包含了建筑物的平面轮廓范围和高程信息。一般建筑物都比地表面要高, 并且呈一定规则形状, 因此对 DSM 影像采用一定准则, 可以将建筑物和其他地物分离, 从而实现城市建筑物的三维几何模型的快速重构。但是, 由于地物的多样性、复杂性, 使得利用较大数据量的 DSM 数据重建三维房屋仍然具有许多困难, 其中, 局部检测建筑物轮廓线和屋顶成为建筑物三维建模的关键问题之一<sup>[2-6]</sup>。

近年来, 国内外很多学者对建筑物三维重构方法进行了大量的研究。G Vosselman 结合城市规划设计和 LiDAR 点云数据, 采用城市规划设计图来获得建筑物墙面位置, 通过 Hough 变换获得屋顶表面高程和方向, 重建了建筑物三维模型<sup>[7]</sup>; 阎平采用均值平移分割算法提取建筑物轮廓线, 通过法向量统计获取建筑物屋顶信息, 对多层次、多直角房屋进行了三维重构<sup>[8]</sup>; 郭韬结合 IKONOS 影像和 LiDAR 数据, 将光谱信息和高程信息结合起来进行城市三维建模<sup>[9]</sup>; 胡勇提出了一个数据驱动、自动重建建筑物边界的流程, 通过统计方法将建筑物屋

顶分成平顶和非平顶, 重建了独立的单层次简单房屋<sup>[10]</sup>; 尤红建通过 DSM 影像分割、边缘提取、边缘跟踪等步骤提取建筑物的边缘轮廓线, 应用多边形逼近、方位角分组确定建筑物主方向, 重建了简单直角规则建筑物三维模型<sup>[11]</sup>。相关研究都将重点放在利用以 LiDAR 数据所生成的 DSM 建模, 而数字摄影测量处理系统“像素工厂”可以生产更高精度的 DSM 影像<sup>[12]</sup>。因此, 本文以“像素工厂”生产的高精度 DSM 为数据源, 分析高分辨率 DSM 影像的建筑物检测和重构方法, 以使建筑物的平面形状和屋顶形状更加逼真。

### 二、建筑物轮廓线提取

#### 1. 阈值分割

DSM 数据具有较大数据量, 因此需要对 DSM 影像作图像分割, 将每栋建筑物所占的区域与地面等其他区域分开, 以确定建筑物的大致形状和位置。对试验数据分辨率为 0.1 m 的 DSM 影像(如图 1 所示)先采用自适应迭代阈值分割算法<sup>[11]</sup>确定阈值, 再用阈值的亮度常量来分割物体和背景, 然后根据每个像素灰度值和阈值的比较将图像分为建筑物区域和非建筑物区域, 阈值分割后影像如图 2 所示。

#### 2. 建筑物边缘检测及规则化

非降采样 Contourlet 变换(nonsampled contourlet transform, NSCT)不仅具有小波变换的多分辨

收稿日期: 2011-04-06

基金项目: 江苏测绘科研基金项目(JSCHKY201010); 江苏省高校自然科学基金项目资助(10KJD420001)

作者简介: 曹敏(1982—), 女, 江苏南通人, 博士, 讲师, 主要研究方向为 3S 技术及其应用。

率时频分析特征,而且还具有灵活的多方向性、各向异性和平移不变性,能有效表示图像的边缘和轮廓特征信息。利用NSCT对图像进行分解并提取各子带高频系数,首先在各子带空间根据系数分布曲线确定阈值,并将系数进行有效分类以提取高频边缘;然后再利用低频信息作为高频边缘的补偿修正,最终形成图像边缘。算法具体步骤为:

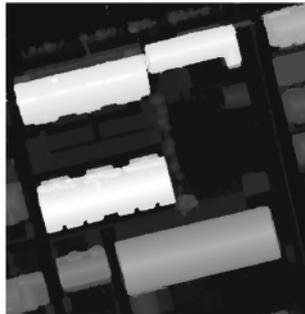


图1 原始DSM

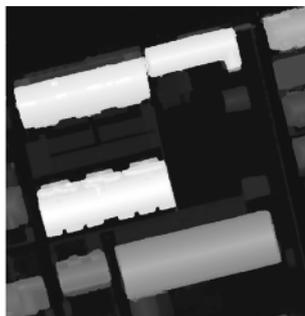


图2 阈值分割后DSM

1) NSCT分解。对原始影像进行 $J$ 层NSCT分解,得到不同尺度、方向子带系数集:  $\{C_{j_0}^n, C_{j_k}^n\} (j > j_0, k=1, 2, \dots, 2^j)$ 。其中,  $C_{j_0}^n$ 为输入影像的低频子带系数;  $C_{j_k}^n$ 为影像在尺度 $j$ 上第 $k$ 方向子带系数;  $n$ 为系数序号。

2) 高频边缘提取。提取最高层各方向子带系数  $C_{j_k}^n$  在各方向子带中,根据式(1)、式(2)计算每一点到系数分布曲线两端点连线的距离  $d_{j_k}^n$  和自适应阈值  $\Gamma$ 。其中,  $C_{\max}^n$ 为  $\{C_{j_k}^n, 1 \leq n \leq M \times N\}$  模极大值;  $C_k$ 为距离最大点所对应的系数模值;  $C$ 为所有子带上  $C_k$  的平均值;  $\eta (1 \leq \eta \leq 4)$  为调整因子。确定自适应阈值  $\Gamma$  后,计算每个位置在最高层各方向子带中系数模值的均值  $C_{me}^n$  和最大值  $C_{\max}^n$ ,根据式(3)提取边缘子带图像,保留强弱边缘(设为1),抑制噪声(设为0),将边缘点连接成边缘曲线,并进行细化处理,生成二值高频边缘图像  $Edge_{high}$ 。

$$d_{j_k}^n = \frac{|C_{\max} \times |C_{j_k}^n| - N \times M \times n|}{\sqrt{(N \times M)^2 + C_{\max}^2}} \quad (1)$$

$$\Gamma = \eta \times C \quad (2)$$

$$E = \begin{cases} \text{强边缘} & C_{me}^n \geq \Gamma \\ \text{弱边缘} & C_{me}^n < T, C_{\max}^n \geq \Gamma \\ \text{噪声} & C_{me}^n < T, C_{\max}^n < \Gamma \end{cases} \quad (3)$$

3) 低频边缘提取。对于低频子带系数部分,使用Canny算法检测,由高斯滤波器的导数计算梯度,通过设置双阈值检测强边缘和弱边缘,得到二值低频边缘图像  $Edge_{low}$ 。

4) 边缘补偿修正。高频边缘体现出的图像细节边缘较多,但往往会出现部分断裂现象;而低频边缘可以很好地体现图像的整体轮廓边缘,但是细节较少。对二者进行补偿连接,得到更加全面准确的二值边缘图像  $Edge$ 。

试验对DSM影像进行3层NSCT分解,高频层上方向子带个数均为8,设置  $\eta$  为3.0,低频阈值分别为0.0125和0.0313,按照上文NSCT边缘检测算法得到建筑物边缘检测二值图,如图3所示。获取了建筑物的轮廓后,将轮廓线分裂,获得每条直线段的点集,然后再通过垂直、平行等约束条件进行轮廓线平差,获得满足多直角房屋的矢量描述,如图4所示。



图3 建筑物边缘检测图

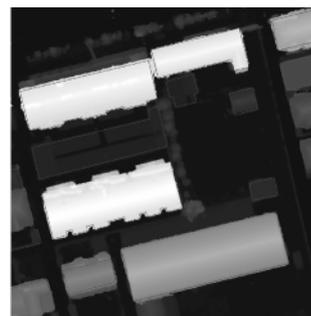


图4 建筑物轮廓矢量图

### 三、建筑坡面屋顶构建

在获得房屋轮廓线的基础上,对轮廓线围成的房屋区域各点的表面法向量进行统计分析,重构坡

面屋顶三维几何模型。法向量  $V$  使用两个角度 ( $\varphi$ ,  $\omega$ ) 来表示<sup>[8]</sup>, 其中  $\varphi$  表示向量在平面  $XOY$  上的投影与  $X$  轴的夹角 ( $0 \leq \varphi \leq 360^\circ$ );  $\omega$  表示向量与平面  $XOY$  的夹角 ( $0 \leq \omega \leq 180^\circ$ )。两个坡面房屋的法向量主要集中在两个关于屋脊线对称的方向上, 且与  $Z$  轴的夹角较大。平顶房屋的屋顶区域中的法向量方向主要集中在  $Z$  轴上。对于坡面屋顶, 用法向量分布图中峰值方向附近高程点拟合出屋顶坡面, 坡面相交得到精确的三维轮廓线, 由此重建坡面屋顶及外轮廓面, 如图 5 所示。

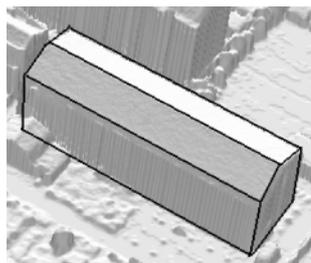


图 5 建筑物三维重构效果图

#### 四、结束语

由于建筑物高于周围的地面, 并且有着相对规则的轮廓, 因此在 DSM 影像上, 建筑物区域与其周围背景有着显著差异, 并且有着相对规则的建筑物边缘线。笔者根据边缘 NSCT 系数特点, 提出了一种有效的 DSM 影像建筑物边缘检测算法, 算法同时在高、低频系数上采用不同方法对建筑物边缘进行检测, 两类边缘互相补偿校正, 从而形成具有较完整轮廓的理想边缘, 有效地表示了图像的轮廓特征信息。对于坡面屋顶, 用法向量分布图中峰值方向附近高程点拟合出屋顶坡面, 并利用坡面相交得到精确的三维轮廓线, 由此重建坡面屋顶及外轮廓面。

#### 参考文献:

- [1] 穆利娜. 城市 DSM、TDOM 的获取技术与应用研究[D]. 西安: 西北大学, 2008.
- [2] 刘修国, 张靖, 高伟, 等. LiDAR 点云数据中建筑物的快速提取[J]. 中国地质大学学报, 2006, 31(5): 615-618.
- [3] 程亮, 龚健雅, 李满春, 等. 集成多视航空影像与 LiDAR 数据重建 3 维建筑物模型[J]. 测绘学报, 2009, 38(6): 494-501.
- [4] 张栋. 基于 LiDAR 数据和航空影像的城市房屋三维重建[D]. 武汉: 武汉大学, 2005.
- [5] 黄先锋. 利用机载 LIDAR 数据重建 3D 建筑物模型的关键技术研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2006.
- [6] BRENNER C. Building Reconstruction from Images and Laser Scanning[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2005, 6(3-4): 187-198.
- [7] VOSSelman G, DJIMKAN S. 3D Building Model Reconstruction from Point Clouds and Ground Plans[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 2001, XXXIV-3/W4: 37-43.
- [8] 阎平. LIDAR 数据中多层次、多直角房屋的三维重建[D]. 武汉: 武汉大学, 2005.
- [9] GUO Tao. 3D City Model Using High-resolution Satellite Image and Airborne Laser Scanning Data[D]. Tokyo: University of Tokyo, 2003.
- [10] HU Yong. Automated Extraction of Digital Terrain Models, Roads and Building Using Airborne Lidar Data[D]. Calgary: University of Calgary, 2003.
- [11] 尤红建, 苏林, 李树楷. 利用机载三维成像仪的 DSM 数据自动提取建筑物[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2002, 27(4): 409-413.
- [12] 周晓明. 基于像素工厂产品提取建筑物矢量轮廓方法的研究与实践[D]. 郑州: 信息工程大学, 2008.

### 《第九届 Esri 中国用户大会论文集》出版

[本刊讯] Esri 中国(北京)有限公司为 2011 年 9 月在北京召开的第九届 Esri 中国用户大会而收录的论文集近日由测绘出版社出版。

论文集共收录论文 88 篇, 书中对近两年来我国空间信息应用的发展, 特别是基于 ArcGIS 与 ENVI/IDL 软件开发应用的最新进展进行了总结和提炼。从 GIS 和 RS 应用、软件开发技巧到行业研究与成功案例, 涵盖了空间信息应用的各个方面, 涉及领域包括测绘制图、数字城市建设、应急减灾、城市管理、交通、国土资源利用、水利、环境保护、林业、农业、公安消防等, 对于从事地理信息系统与遥感技术应用及相关专业的有关人员具有较大的参考价值。

该书为大 16 开本, 定价 80.00 元。

(本刊编辑部)