

LIDAR 点云数据的建筑物特征线提取

孟 峰 , 李海涛 , 吴 侃

(中国测绘科学研究院 , 北京 100039; 中国矿业大学环境与测绘学院, 江苏徐州 221008)

【摘 要】传统的房屋建模主要采用航空航天立体影像来获取房屋的 3 维数据, 通过在数字摄影测量系统上进行立体量测来实现。这种方式费时、费力、周期比较长, 影响了成果的现势性。机载激光雷达可直接、快速获取大面积地表点的三维坐标信息, 为建筑物特征线提取和建模带来了便利。以往基于 LIDAR 点云数据进行建筑物特征线提取, 大多只是针对简单的平顶房屋和人字型房屋。本文提出了一种能够精确提取建筑物特征线的方法, 通过建筑物区域确定、建筑物顶面分类, 能够实现诸如平面、斜面和多层次建筑物特征线提取的方法。

【关键词】特征线; DSM 影像; 顶面分类; 等高线追踪; 平面相交

【中图分类号】 TP79

【文献标识码】 A

【文章编号】 1009 - 2307 (2008) 05 - 0097 - 04

DOI: 10. 3771/j. issn. 1009-2307. 2008. 05. 034

1 引言

当前, 基于航空遥感影像的建筑物自动提取和三维重建距离实用化的要求还有很大的差距^[1]。机载激光雷达可直接获取地表点的三维坐标信息, 反映的是地物的几何结构信息, 为建筑物自动提取和三维重建带来了便利。目前, 可以采集到十分密集的激光点, 从 1~20 点/m² 的激光点不仅能检测出建筑物的近似轮廓, 还能提取平面屋顶, 从而能正确建立反映屋顶结构的模型^[2]。高分辨率影像用于地物提取具有更高的地面分解力, 但也表现更加复杂和不稳定的光谱特征, 利用机载激光雷达可以避免利用遥感影像带来的“同物异谱、同谱异物”干扰。并且, 机载激光雷达发射的激光脉冲能够部分地穿透植被, 所以相对传统利用航片遥感影像进行建筑物边界的提取, 利用机载激光雷达还能够有效解决矮小建筑物临近树木的遮挡问题, 正确提取建筑物的特征线。

与光学影像相比, 激光雷达数据在表现对象几何特征上更加直接、在描述不连续变化上更具优势, 处理的自动化程度更高^[3], 被认为有望解决建筑物提取传统技术遇到的某些瓶颈问题, 如阴影、遮挡等。本文提出了一种利用 LIDAR 点云数据提取建筑物顶面详细特征线的方法。

2 建筑物特征线的提取

2.1 建筑物特征线

建筑物的特征面、特征线、特征点是建筑物形状描述、三维重建的重要参数, 而特征线是联系其他两个参数的纽带, 特征点可以由特征线相交得到, 特征面可以由特征线共面来定义。对于建筑物的特征线定义, 标准不统一, 有些称之为边界线、边缘线、轮廓线、屋脊线等, 在理解上容易给人造成误解。作者认为统一称之为特征线更能体现出其内在的涵义和功能, 而边界线 (外围轮廓线)、阶梯

线、屋脊线则为其三种主要表达形式。

要建立一个三维建筑物模型首先要做特征的提取, 包括建筑物角点信息、建筑物边缘线以及屋顶面, 提取得到其中任一项特征以后, 另外两项都可由数学关系推估求得。现实中建筑物的墙面一般都与地面垂直相交, 而建筑物的顶面结构则相对较为复杂, 所以实现建筑物顶面特征线的精确提取和模型重建, 对于建筑物的三维重建十分重要。

2.2 一种精确提取建筑物特征线的方法

已有国内外的一大批学者, 对于利用 LIDAR 点云数据进行建筑物特征线的提取进行了研究试验^[4-7]。但是, 多数研究都是针对简单的平顶房屋和人字型房屋, 较为复杂的房屋都是融合光学影像和 GIS 数据 (平面图) 进行建筑物特征线的提取重建^[8-11], 同时缺乏对多层次复杂房屋模型进行的研究。

现实世界中, 建筑物类型复杂多样, 给建筑物的提取重建工作带来了一定的难度。但是, 仔细研究发现大部分建筑物呈现一定的规则性, 即大部分建筑物具有规则外形、且多为对称结构。本文旨在探求一种能够精确提取结构较为复杂规则建筑物顶面的方法、技术流程, 能够实现诸如: 平顶房屋、人字型房屋、山型墙房屋以及具有多层次结构模型房屋特征线的提取。其主要思想为考虑到 (多数的房屋具有层次结构模型, 采用自下而上、由外到内的原则进行建筑物特征线的提取。主要包括以下几个步骤: 首先将点云数据转成 DSM 影像; 检测建筑物区域, 提取其轮廓线, 去除小图斑, 并拟合规则化; 对每一个建筑物边界线内的点云数据进行纹理统计分析, 判断房屋顶面结构类型; 分别提取建筑物的阶梯线和屋脊线, 按照线段之间的拓扑关系, 组合建筑物顶面的特征线。其技术流程如图 1。

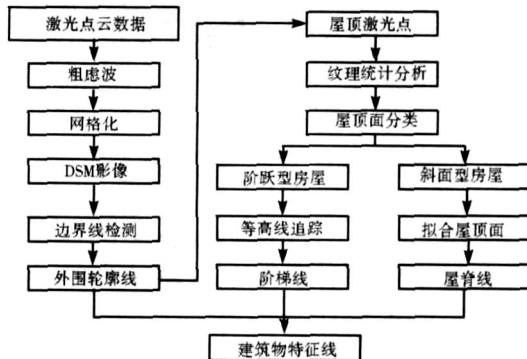


图 1 建筑物顶面特征线提取流程图



作者简介: 孟峰 (1983-), 男, 中国矿业大学环测学院 2004 级硕士研究生, 专业: 大地测量学与测量工程, 主要研究方向: 开采沉陷预计与控制, LIDAR 数据处理及应用。

E-mail: mfcasm@126.com

收稿日期: 2007-04-27

基金项目: 地理空间信息工程国家测绘局重点实验室开放研究课题 (编号: 200601)

3 基于 DSM 影像的边界线提取

对于机载激光雷达获得的散乱点云数据来说, 在没有任何拓扑关系的基础上检测边界特征线是比较困难的事。将 L D A R 数据转换为影像, 借鉴数字图像处理 and 遥感影像地物提取方法, 将有助于实现建筑物特征线的提取。根据激光雷达的测距定位原理, D S M 影像可以看作是正射影像, 不需像光学影像那样对其进行几何纠正处理, 因此基于 D S M 影像进行边界提取可消除阴影区域的影响。D S M 灰度影像上的灰度值变化即为对应的高程值突变, 由 D S M 影像提取的建筑物的轮廓线可认为就是建筑物的真实轮廓线。房屋顶面一般都是连通的封闭多边形区域, 且平顶房屋轮廓线一般都是具有等高的特性, 所以获得的建筑物的轮廓线即为其特征线。

3.1 L D A R 点云数据网格化

L D A R 点云数据为三维空间数据, 其数据量十分巨大, 对其直接进行操作有一定的难度。为了后续处理的方便和内容表示的直观性, 将 L D A R 点云数据转成灰度影像图, 即 D S M 影像图。在转换之前, 可通过滤波操作去除 L D A R 点云数据中可能存在的一些奇异点 (高程极大值点或极小点)。然后将点云数据内插成规则网格, 为了保护建筑物与周围地表的差异, 方便房屋边界线的提取, 减少内插带来的误差, 采用最近点法进行插值。搜索所有的格网点, 得到高程的最大值 Z_{\max} 和最小值 Z_{\min} , 由下列等式可计算得到每个格网点在 256 灰度图上的灰度值:

$$\text{Pixel}(i) = (Z(i) - Z_{\min}) * (Z_{\max} - Z_{\min}) / 255$$

式中 $\text{pixel}(i)$ 表示灰度值, $z(i)$ 表示该格网点的高程值。

3.2 基于边缘特征的边界线提取

由图 2a 可知, D S M 影像上较亮的区域代表高程较高的建筑物或植被, 较暗的区域则表示高程较低的地面。建筑物与其周围区域的高差特性, 表现为 D S M 灰度影像上灰度值的不连续性。通过传统的图像处理方法, 可以提取建筑物的边界特征信息^[12]。建筑物不同于陡坎或者立交桥等建筑物, 其与四周的地面皆有高差, 提取的外围轮廓线形成一个闭合的曲线。本文采取基于 Canny 算子的提取方法, 由图 2b 可以看出房屋的外围轮廓线十分完整, 而且边缘的连续性很好, 效果优于其他算子。这是因为 Canny 算子采用了高低两个阈值, 并进行了“非极大抑制”和形态学连接操作的结果。

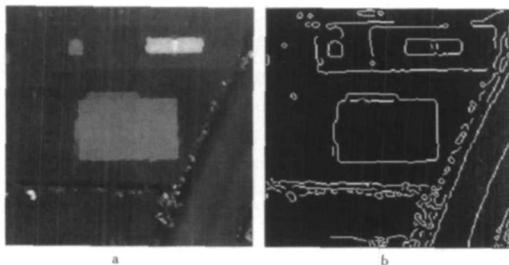


图 2 利用 canny 算子提取边界

3.3 建筑物区域确定

一般 L D A R 点云数据滤波都是根据临近激光脚点间的高程突变 (局部不连续) 进行的, 一般认为两临近点的距离越近, 两点间高差越大, 较高点位于地形表面的可能性越小^[13]。在同一区域一定范围大小内地形表面激光脚点的高程和临近地物 (房屋、树木、电线杆等) 激光脚点高程变化显著, 在房屋边界处更为明显, 局部高程不连续的外

围轮廓就反映了房屋的形状。在测区的坡度影像上显示较为明显直观, 如图 3。根据建筑物的形状、大小、面积等特征统计检核提取的每一条边界线, 通过设置简单的阈值, 就可以有效地去除断裂线、小图斑等, 得到建筑物的轮廓线, 如图 4。



图 3 测区坡度影像

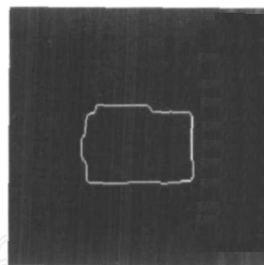


图 4 房屋轮廓线

3.4 建筑物轮廓线拟合、规则化

由于激光点云分布的不规则性, 检测的建筑物的轮廓线都是曲线, 但是现实中, 建筑物的轮廓线一般都是规则形状的矩形、多边形形状, 并且相邻墙面具有正交的特点, 为了得到精确的建筑物轮廓线, 需要对边界进行拟合和规则化的处理。首先按照道格拉斯方法分裂多边形, 按照最小二乘法拟合每条边。对于拐角为直角的房屋还需对其进行取直的操作, 分别计算每两条边的夹角, 将其逐步调整成直角, 称之为规则化。对于对称型的房屋, 如矩形、人字型、四坡型房屋, 可计算建筑物的主轴方向, 参考主轴方向进行规则化。经边缘规则化后得到的建筑物形状基本符合建筑物的特点, 对于平顶建筑物, 可利用该建筑物上的所有激光采样点数据, 计算出该建筑物的平均高度, 这样该建筑物的平面位置和高度就完全确定了; 对于外形不太规则的建筑物, 则不适合运用规则化处理, 可以直接用逼近的多边形来代替该建筑物。

3.5 建筑物顶面分类

标注每一条建筑物的边界线, 利用 Point-In-Polygon 演算法求取落在房屋顶部的激光脚点。计算落在建筑物顶面上的点云平均值与位于周围地面上的点云的高程差, 可以进一步来检核该建筑物区域的正确性。同时计算统计建筑物顶面上的点云的高程直方图、标准差和法线向量^[14], 依此来对建筑物的顶面进行分类。比如: 对于平面屋顶, 其高程直方图只有一个峰, 较为狭窄, 标准差趋近于零, 法线向量只有一个; 对于阶跃型房屋, 其高程直方图可能有两个以上的峰, 标准差较大, 法线向量有两个以上; 对于屋脊型房屋, 其高程直方图呈大致的线性分布, 没有明显的峰顶, 标准差不大, 法线向量也有两个以上。在这里, 法线向量其实指的是平面的法线向量, 通过聚类分析, 其个数表征平面的个数。

4 基于等高线追踪的阶梯线提取

通常情况下, 深度图像 (D S M 影像) 上的建筑物外围轮廓线可以用一般的梯度算子检测出来, 但屋顶面内部特征线用一般的梯度算子很难检测。这是因为建筑物顶部结构的起伏度相对于建筑物与周围地表的高差要小得多, 特别是在高层建筑物区域, 这种情况尤为明显。对比图 2 和图 5 可知房屋顶部的屋脊线并没有被检测出来, 这是因为倾斜屋顶面深度变化缓慢, 差分算子不能很好的工作。

现实世界中存在着多层次房屋, 特别是一些高层建筑物的顶部结构相当复杂, 对于两个屋顶面之间有高程差的

情况, 可将这种特征线称为阶梯线 (或者阶跃线)。而等高线提供了一个将 DSM 数据和多层次房屋模型联系起来的桥梁^[15]。首先, 等高线反映了房屋每一层次的高程信息, 使对多层次房屋的重建成为可能; 其次, 等高线构成了每一层次的轮廓线, 提供了重建的基本单元; 更为重要的是, 对于一个完整的房屋层次而言, 等高线是封闭的, 这避免了对零散的边缘进行编组的困难。

对建筑物区域内的点云数据, 依据高程分布直方图、平均值、标准差确定建筑物的层次结构, 采用等高线追踪的方法, 可获取各层次等高线 (阶梯线), 并按照 3.4 的方法对建筑物的阶梯线进行拟合和规则化。但是, 等高线追踪方法对于人字型房屋、带有山型墙房屋 (又称作工字形房屋或四坡型房屋等) 屋脊线的检测效果较差, 如图 5, 外围轮廓线和阶梯线很容易确定, 中间的屋脊线位置则难以判断。人字型房屋屋脊线逐渐内缩, 并且出现了断裂情况, 所以要得到其屋脊线需要进一步的处理。

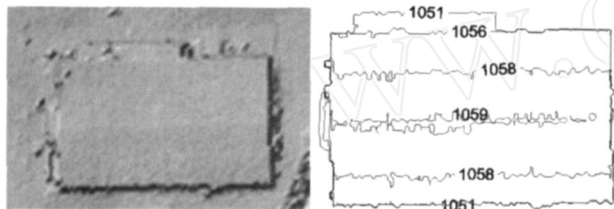


图 5 屋脊型房屋等高线追踪示意图

5 基于平面相交的屋脊线提取

建筑物的顶面绝大多数为平面或者是倾斜面, 所以落到建筑物顶面上的激光点具有共面的特性, 显然建筑物的顶面可能有几个面组成。上文所述平顶房屋和阶跃型房屋的顶面都是平面, 而若屋顶的平面为单一的倾斜面, 其外围轮廓线可以按照第三部分所述进行提取, 本部分叙述屋脊型房屋的屋脊线的提取方法。

所谓屋脊线, 就是由相邻的屋顶面相交形成的特征线。根据点云的共面特性, 由屋顶点构成的三角网中三角形的法向量方向在空间分布中具有统计意义的峰值, 通过峰值可以检测出屋顶的平面^[6]。对于人字型房屋和具有山型墙的房屋, 屋脊线可以利用相邻的平面相交而得, 如图 6。

设人字型房屋两个屋顶面的法线向量分别为 n_1 、 n_2 , 平面方程分别为:

$$\begin{aligned} E_1 \quad a_1 x + b_1 y + c_1 z + d_1 &= 0 \\ E_2 \quad a_2 x + b_2 y + c_2 z + d_2 &= 0 \end{aligned}$$

则 $n_1 = (a_1, b_1, c_1)$, $n_2 = (a_2, b_2, c_2)$ (如图 6)。

此两个平面的交线即为屋脊线 L_1 , 设其方向向量为 n , 根据空间平面相交公式, 可求得 n_1 :

$$n_1 = n_1 \times n_2$$

屋脊线 L_1 可用点向量式来表示, 再计算其与屋顶轮廓线的交点即为屋脊点。一般情况下, 人字型屋脊线为位于 XY 平面内的一条直线, 提取相对简单, 此种方法更适合于四坡型房屋屋脊线的确定和提取。

因此, 利用最小二乘理论拟合出屋顶面, 根据相邻平面的相交公式可计算出屋脊线, 最后并进行合理性判断, 以避免提取不恰当的屋脊线。

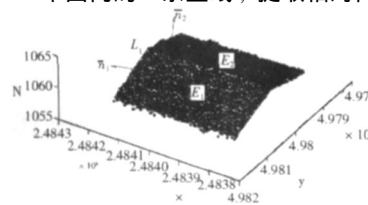


图 6 人字型房屋屋顶面法线向量示意图

相邻特征面交会就得到了特征线, 相邻特征线交会就得到特征点, 若相邻三个特征面交会也将得到特征点——建筑物的角点。有了建筑物的特征面、特征线、特征点, 按照一定的算法, 就可以实现建筑物的三维重建。

6 结束语

1) 本文所述建筑物特征线提取方案、流程, 综合利用经典图像处理方法和空间统计学、空间几何分析方法, 通过对建筑物顶面的分类, 能够有效提取平面、斜面、多层次房屋的特征线。

2) L D A R 获取的为地面点的三维坐标信息, 点云数据主要分布在建筑物的顶面上, 只有少数点扫描到其侧面 (特别是和扫描线平行的侧面上, 更少), 因此利用 L D A R 点云数据就不能十分有效地进行侧面的提取、重建。针对这一问题可以利用地面激光扫描仪来解决。

3) L D A R 进行建筑物顶面特征线提取, 其精度除了受各种计算方法、函数模型的影响, 还受到点云密度 (分辨率) 和点位精度的影响。因此, 建筑物顶部的一些更为精细的结构特征, 如烟窗、水塔、天窗等结构则很难被描述和提取。

4) 点云与光谱数据间具有很好的互补性: 激光雷达数据具有单张影像缺少的准确高度信息, 可以提供树木覆盖下的地面数据; 光学影像则包含详细的纹理和丰富的光谱特征。因此, 融合激光雷达数据与其他数据源进行建筑物的提取是当前研究的热点。当前的 L D A R 系统还可以同步记录点云的强度信息, 一些新型的 L D A R 系统还配备了航空相机、数码相机、多光谱扫描仪或专题成像仪等, 能够同步获得测区的光学图像, 融合点云数据、强度信息和光学影像进行建筑物的特征线的提取可以提高精度和准确性, 也是未来发展的趋势。

参考文献

- [1] 张小红. 机载激光扫描测高数据滤波及地物提取 [D]. 武汉: 武汉大学, 2002
- [2] 尤红建, 苏林. 机载激光扫描测高数据滤波 [J]. 测绘科学, 2004, 29 (6): 50-53
- [3] 梁欣廉, 张继贤, 李海涛, 闫平. 激光雷达数据特点 [J]. 遥感信息, 2005, 78 (3): 71-76
- [4] 尤红建, 苏林. 基于机载激光扫描数据提取建筑物的研究现状 [J]. 测绘科学, 2005, 30 (5): 114-116
- [5] 张小红, 耿江辉. 用不变矩从机载激光扫描测高点云中重建规则房屋 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2006, 31 (2): 168-171.
- [6] Maas H G, Vosselman G. Two Algorithms for Extracting building Models from Raw Laser Altimetry Data [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 1999, 54 (2/3): 245-261.
- [7] Franz Rottensteiner and Christian Bries: A New Method for Building Extraction in Urban Areas from High-Resolution Lidar Data Symposium der ISPRS-Comm. III, Graz, 9 - 13 September 2002 International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume XXXM / 3A, 295-301.
- [8] Vosselman G. Fusion of laser scanning data, maps, and aerial photographs for building reconstruction [C]// IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium and the 24th Canadian Symposium on Remote Sensing, IGARSS02, Toronto, 2002: 20-23.

(下转第 108 页)

- [2] 陈述彭. “数字鸿沟”与地球信息科学的应对[J]. 测绘科学, 2003, 28 (3): 1-4.
- [3] 龚健雅, 杜道生, 李清泉, 等. 当代地理信息系统技术[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [4] 宋关福, 钟耳顺, 王尔琪. WebGIS基于 Internet的地理信息系统[J]. 中国图象图形学报, 1999, (3).
- [5] 蒋红兵, 蒙印. WebGIS的空间数据共享与互操作[J]. 四川测绘, 2005, 28 (1): 20-22.
- [6] 龚震宇, 贾利民. 基于 Web Services的空间信息服务开放互操作模型[J]. 计算机应用, 2006, 27 (4).
- [7] 张竞, 张天桥, 吴健平. GIS Web Services实例研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2004, 27 (6): 19-22.
- [8] Jason Blomberg 面向服务架构 (SOA) 的原则 [EB/OL]. <http://searchwebservicestechtarget.com/cn/450/20599503.shtml> 2005-09-01.
- [9] 张韬, 应时. 基于统一建模语言的面向服务体系结构的描述[J]. 计算机工程, 2005, 31 (16): 89-91.
- [10] Microsoft XML Web Services Basic [EB/OZ]. <http://msdn.Mirsoft.com/webservices>
- [11] 王峰, 田锋. Web Services在空间数据互操作中的研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2005.
- [12] OpenGIS Consortium Inc. Web service common implementation Specification [EB/OL]. http://www.Opengeospatial.org/specs/?page=2006_6
- [13] 黄海峰, 夏斌, 黎华, 等. 空间地理信息网络服务集成框架初探[J]. 测绘科学, 2006, 31 (4): 112-114.

A Web services - oriented model for spatial data sharing under the guidance of SOA in internet

Abstract: In order to solve the problem of a great lot distributed and heterogeneous spatial data sharing in Internet, this study firstly proposed a web services - oriented model for spatial data sharing under the guidance of SOA framework, which integrated the web services with the traditional WebGIS technologies. Then, it described the construction and the operation process of this model. Finally, taking ArcMS and MapXtreme, two kinds of WebGIS platforms, as example, the feasibility of this model was validated. The results revealed that this model is effective to realize the interoperation among different WebGIS systems, and hence can be regarded as a new idea to work for the sharing of the distributed and heterogeneous spatial data in Internet.

Key words: spatial data; SOA; Web services; WebGIS; Internet

ZOU Bin, ZENG Yong-nian, DONG Ming-hui, YANG Ling-bin, TONG Zhi-jun (School of Info - Physics and Geomatics Engineering, Central South University, Changsha 410083, China; Department of Geography and Tourism, Hunan University of Arts and Science, Changde 415000, China; Institute of Remote Sensing and GIS, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

(上接第 99 页)

- [9] Schenk T, Csath B. Fusion of L D A R data and aerial imagery for a more complete surface description [J]. The International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2002, 34 (3A).
- [10] Rottensteiner F, Trinder J, Clode S, et al. Fusing airborne laser scanner data and aerial imagery for the automatic extraction of buildings in densely built-up areas [C] // Proceedings of the XXth ISPRS Congress at Istanbul, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Science s, Istanbul, 2004.
- [11] Hofmann A D, Maas H G, Streilein A. Knowledge-based building detection based on laser scanner data and topography map information [J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2002, 34 (3A).
- [12] 赖旭东, 万幼川. 机载激光雷达距离图像的边缘检测研究[J]. 激光与红外, 2005, 35 (6): 444-446.
- [13] Vosselman G. Slope based filtering of laser altimetry data [J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Amsterdam, 2000, 33 (B3): 935-942.
- [14] 邓非. L D A R 数据与数字和地物提取研究 [D]. 武汉: 武汉大学, 2006.
- [15] 阎平, 江万寿. DSM 数据中多层次、多直角房屋的三维重建 [J]. 武汉大学学报. 信息科学版, 2006, 31.

The extraction of buildings' roof feature lines based on point clouds

Abstract: The traditional method of building reconstruction is mostly realized by the digital photogrammetric workstation. L D A R can acquire large areas high resolution DSM directly and rapidly. It is beneficial to the extraction of buildings' roof feature lines and building model reconstruction. In the past, people just can extract the simple flat and slope roofs' feature lines based on point clouds generally. This paper proposes an algorithm, which can extract the roofs' detail feature lines. By ascertaining the building land, classifying the roofs, it can extract the flat, slope and multi-level buildings' feature lines.

Key words: feature line; DSM image; roof classification; contour tracing; plane intersection

MENG Feng, LI Hai-tao, WU Kan (Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100039, China; The College of Environment and Spatial Informatics, Xuzhou Jiangsu 221008, China)