

# 基于 LiDAR 的城市土地集约利用评价方法研究

石志宽<sup>1,2</sup>, 汤国安<sup>1</sup>

(1 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210046)

(2 南京农业大学中国土地问题研究中心, 江苏 南京 210095)

[摘要] 城市土地集约利用水平反映了城市土地利用的强度和效率, 是城市三维空间布局的藐视指标, 关系着如何规划城市土地的用途. LiDAR 数据是数字地形模型和三维城市模型的主要数据源. 研究提出了基于 LiDAR 数据自动进行城市土地集约评价的三阶段框架. 首先对 LiDAR 数据进行分类, 获取植被、建筑物等信息; 接着产生 100 m × 100 m 的评价网格, 计算每个网格的三维房地指数和植地指数, 进而生成城市土地集约利用评价专题图; 最后以 Optech 获取的江苏徐州的 LiDAR 数据为例展示评价的效果.

[关键词] LiDAR 分割与分类, 三维城市模型, 土地集约利用评价

[中图分类号] P228 [文献标识码] A [文章编号] 1001-4616(2009)04-0110-07

## Research of Urban Land Intensive Use Assessment Method Based on LiDAR

Shi Zhikuan<sup>1,2</sup>, Tang Guoan<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Nanjing Normal University, Ministry of Education, Nanjing 210046, China)

(2. The Research Center for China Land Policy, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract** The level of urban land intensive use is related to how to plan the urban land. LiDAR (Light Detection And Ranging) data are a primary data source for digital terrain model (DTM) generation and 3D city models. This paper presents a three-stage framework for a robust automatic urban land intensive use assessment based on raw LiDAR data. In the first stage the raw data are classified to vegetations, buildings and so on. In the second stage, 100 × 100 meters cell are created. 3d house-land index and vegetation-land index are computed and stored in each cell. In the third stage, create thematic map of urban land intensive use assessment. Finally, one LiDAR datasets gathered over the city of Xuzhou, Jiangsu province (China) with Optech airborne laser scanning systems are shown to illustrate the effectiveness of the proposed approach.

**Key words** LiDAR, segmentation and classification, 3D city models, land intensive use assessment

随着国民经济的快速发展, 作为经济增长的重要生产要素的城市土地资源越来越紧缺, 使得人们逐渐重视城市土地的利用效率和集约利用. 如何客观准确地评价城市土地集约利用是困扰土地资源管理部门的一项难题. 传统的评价方法通常只考虑二维数据而忽略了三维城市建筑的布局和三维生物量信息, 而这些信息对应评价城市土地集约利用来说又是至关重要的.

机载激光雷达融合了激光测距、GPS 和 MU 等技术, 能够快速准确地获取地球表面建筑、道路、植被、水域等物体三维坐标信息和反射强度信息, 其测量的高程精度可以达到 15 cm. 从高精度高密度的 LiDAR 点云可以获取高精度的数字表面模型, 可以从数字表面模型和其它土地利用信息中获取城市土地集约利用指数信息.

城市土地集约利用评价工作有以下特点: 评价内涵不统一; 尺度难以确定; 评价因子难以确定<sup>[1,2]</sup>. 城市土地集约利用潜力评价的目的是综合分析当前城市存量土地利用的状态, 从而得出城市土地利用的潜

收稿日期: 2009-10-09

基金项目: 国家“863”项目(2006AA12Z212)、南京农业大学青年科技创新基金(KJ08028)资助项目.

通讯联系人: 石志宽, 博士研究生, 讲师, 研究方向: 地籍测量、地理信息系统. Email: szk@njnu.edu.cn

能,属于城市微观潜能的范畴.本文以江苏徐州泉山区为例,提出了一种基于LDAR数据对城市土地集约利用进行评价的有效的方法.其分析的结果将可用于辅助城市土地利用总体规划.

## 1 相关工作

借助于LDAR点云数据,能够快速准确地获取真实的城市三维建筑布局和景观格局,利用这些信息对城市土地集约利用程度做出客观评价逐渐为众多国内外学者所推崇.有了三维城市建筑、道路、植被、街道、河流等布局信息,在其基础上做深入的分析与应用,不难对城市土地利用状况做出评价,因此问题进一步归结为如何从LDAR点云数据中提取这些城市要素的布局信息.有学者指出从点云中分割出植被信息是极具挑战的工作,特别是城市地区,植被的冠层与建筑的顶层交错分布,这些要素的分割与分类是研究的核心,文献[3-6]在这一领域做出了深入的研究,其研究成果有一定的参考价值和实用价值.总体上看这些研究在综合考虑了地表物体的采样点几何分布信息和回波信息的基础上借助于经典的分类器实现了点云的分类,比如简单阈值法分类器<sup>[5]</sup>,支持矢量机模型分类器SVM<sup>[3]</sup>和Adaboost分类器<sup>[4,6]</sup>等.

除了植被分类这一难点以外,建筑物提取也一直是LDAR点云分析中的热点话题.文献[7]提出了一种三阶段框架用于LDAR点云数据的自动分类,从而获取建筑物、地面、植被等信息.在建筑物三维建模方面,文献[8]认为建筑物的边界有一定的方向性,在确定了主方向后,其分割的精度将大大提高,然而在具体实现时,其算法也只考虑了正交的两个方向,因此限制了其应用和推广.文献[9]提出先从高程数据探测建筑物轮廓边界,然后借助于直角简化算法进行建筑物建模.遗憾的是真实建筑的复杂度远远超出了直角的前提假设,文献[6]将贝叶斯分类器用于建筑物脚点的提取,一定程度上缓解了直角假设的矛盾.

点云建筑建模的先驱们例如[9-16]以及[7],先将LDAR点云内插为网格DSM,然后运用较为成熟的影像处理算法来探测建筑物轮廓脚点,进而重建建筑模型,这种思路简单,可以充分运用前人的成果经验,也一定程度上克服了激光脚点无法维系几何拓扑关系的困难,但是其网格DSM也掩盖了点云精确的、不规则的优点,同时内插算法的采用将内插模型误差引入到DSM中,其结果必须做进一步的处理才能使用.

近期的一些研究比如[5]和[6]试图直接使用LDAR点云获取建筑物信息,避开网格表面模型的弊端,得到了一定的研究成果,但是其算法的效率有待进一步提高.文献[5]在识别建筑物顶部拓扑图时借助于预先定义好的建筑物顶部模板来自动实现探测建筑物的拓扑关系.而[6]则关注于建筑物脚点的自动提取问题.

在获取真实建筑物信息方面,仅仅依靠机载LDAR信息很难建立完美的模型,很多学者开始关注机载与地基激光设备协同建模的研究,文献[16]介绍了集成地基与空基激光雷达对建筑物进行真实建模的研究工作,不但得到了准确的建筑物顶部信息同时还具有完美的侧面信息.文献[17]从另外的角度,在少量的带有启发性质的人工操作基础上实现了地基与空基激光雷达数据的自动拼接与建筑物的重建,随后[10]将航空影像和地面拍摄的建筑物侧面影像也加入到建模中去,从而获得更加真实的更加精确的建筑物信息,但是其工作量也是惊人的.

总的来讲,基于LDAR点云数据来重建建筑物的工作可分为三个步骤,首先去除非建筑物点云(例如植被、地面等),接着从建筑物点云中分离建筑顶部并探测建筑物的边界<sup>[11]</sup>,最后将分辨出的建筑物面片按照一定的拓扑关系进行组合,从而完成建筑建模工作.在植被点云分类中我们引入支持矢量机模型算法<sup>[12]</sup>,利用已知的植被点云进行知识学习,建立植被判断算法.我们的思路将沿用此过程并在细节上做一些改动.

## 2 方法

本文提出了基于LDAR数据评价城市土地节约利用潜力的途径.主要有三个步骤(见图1):

### 1) 预处理过程

对原始采集的LDAR点云数据进行必要的处理,主要有提出异常值、消除错误、点云分割与分类等工作.

### 2) 对象提取

由于建筑用地、生态用地占城市土地的比重比较大, 本文主要提取三维建筑和三维植被对象。

### 3) 生成评价单元

对评价区域生成评价单元, 根据我国的百米网格规划, 选择 100 m × 100 m 的网格作为评价单元, 每个评价单元计算本单元中的三维房地指数和三维植地指数, 最终计算每单元的城市土地集约利用指数。从而评价单元的城市土地集约利用水平。

## 2.1 分类和对象提取

分类是评价的重要步骤, 需要可靠的三维分割算法。

### 2.1.1 植被

传统的植被分类的惯用方法是计算植被指数, 植被指数能够快速准确地地区分植被和非植被信息, 有关植被指数的定义不同, 计算的公式也存在较大的差异, 但是一个共同的特点是需要借助观测对象的光谱信息。这些信息对应光学遥感和数字遥感来说不是什么难事, 但是对应 LiDAR 来说却不那么容易。

从海量的机载 LiDAR 点云中分离出植被点云本身就是一项极具挑战的任务, 也是研究的热点。特别是低矮植被的分类, 尚没有完美的分类解决方案。分类难以实现的主要原因是点本身并不维系空间关系, 机载激光雷达设备获取的点云密度虽然大、精度高但是目前流行的点分类器必须借助点及该点的某个邻域的几何特性和光谱特性。如果机载激光雷达设备能够获取除了距离信息以外的更多地表信息比如光谱信息等这种状况将会得到根本的改善。目前业内流行的设备都尚未做到同步观测激光脚点的光谱信息, 在研的机载雷达设备已经加入了同步获取光谱信息的功能, 相信不久的将来植被分类的精度将大大提高。研究区的 LiDAR 数据仅有点云的几何坐标和强度信息, 由于数据源的限制, 本文我们所采用的植被分类方法是借助点云的高度信息、强度信息和回波次数等信息, 借助决策树技术在植被和点云空间分布之间建立联系, 并实现利用实地采集的植被信息进行验证, 其分类结果基本能满足城市土地集约利用评价的需求。

### 2.1.2 建筑物

LiDAR 数据获取三维建筑信息的研究很多, 很难说哪种算法绝对优于其它算法, 本文借助一种假设对 LiDAR 点云进行建筑物点云的分类和建模, 其假设内容是, 任何复杂的建筑外表模型都能够由一些基本的简单几何面围绕而成, 基于此假设, 建筑的识别就能够用几何面的识别来代替。其基本流程可以总结为: 点云分割, 建筑边沿探测, 几何表面生成, 建筑模型构建等。

由于人工建筑的外形的复杂性, 需要通过交互的手段对结果进行相应的修正。

## 2.2 评价方法

### 2.2.1 三维房地指数

三维房地指数反映了单位土地面积中建筑的体积, 此值越大说明土地利用集约利用的程度越高。在一般情况可以采用下面的公式来计算。

$$hli = \frac{S_{house}}{S_{cell}} \quad (1)$$

$S_{house}$  是评价单元内所有的建筑面积, 由于直接从 LiDAR 点云获取建筑面积有一定难度, 在假设建筑的层高是 3 m 的前提下, 可以用建筑的高度除以 3 再乘以建筑的基底面积来近似代替。当一个建筑跨越若干个评价单元时需要对建筑进行分割, 也可以直接针对分类的点云进行操作。对建筑顶面的点云进行泰森多边形分割, 确定每个点所代表的范围, 也能计算此值。

$S_{cell}$  是单元面积。

### 2.2.2 三维植地指数

三维植地指数反映了单位土地面积中植被的容积。考虑到生态因素对城市的生活环境的影响, 此值越大则说明单位面积的生态条件越好, 一般情况下可用下面的公式计算。

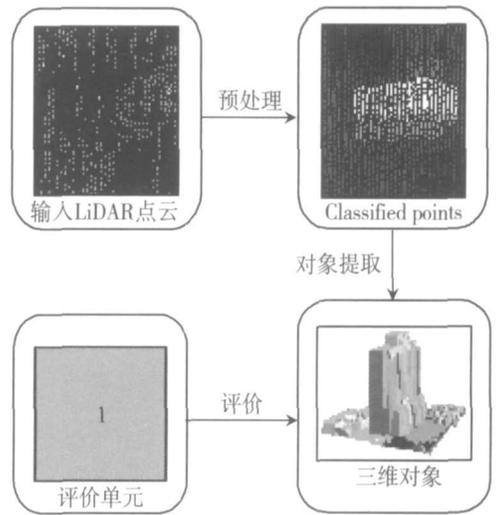


图 1 百米网格单元的评价流程

Fig.1 Evaluation workflow of one 100×100 cell

$$h_{li} = \frac{V_{vegetation}}{S_{cell}}, \quad (2)$$

$V_{vegetation}$ 是在评价单元内所有植被的体积,由于LDAR点云无法直接获取该数值,通常可用植被冠层顶部的点高程减去地面高程乘以点所代表的面积近似计算。

如果有每个单元的人口数据,就可以计算每个单元内部人均绿量,对于城市的人居环境评价也具有借鉴意义。

### 3 实验区数据

实验区位于江苏西北部徐州市区的泉山境内(见图2),介于东经 $117^{\circ}05' \sim 117^{\circ}15'$ ,北纬 $34^{\circ}11' \sim 34^{\circ}16'$ 之间;属暖温带半湿润季风气候,四季分明,雨量适中,地势平坦,自然文化旅游资源丰富;地处苏、鲁、豫、皖四省交界处,是贯通南北、连接东西的国家综合交通枢纽,是全国重要的能源基地和工业基地。实验区地势平坦,以平原为主,平原约占土地总面积的90%。该区正处于工业化、城市化中期,建设用地总量扩张与结构调整并行,总量增长占主导,成长型区域土地利用特征明显。实验数据由Optech获得,飞行记录如下表1。

表1 飞行记录  
Table 1 Flight records

id	high	course angle (degree)	velocity	PDOP	s	code	emission frequency/Hz	Scan frequency/Hz	HalfFOV
14	3 000	270	225	1.9	10	xz3000-0411a	33	13	25
13	3 000	90	270	1.51	11	xz3000-0411a	33	13	25
12	3 000	270	230	1.94	10	xz3000-0411a	33	13	25
11	3 000	90	265	1.5	10	xz3000-0411a	33	13	25
10	3 000	270	226	1.38	11	xz3000-0411a	33	13	25
9	3 000	90	275	1.39	11	xz3000-0411a	33	13	25
8	3 000	270	225	1.79	10	xz3000-0411a	33	13	25
15	3 000	90	280	1.89	9	xz3000-0411a	33	13	25
16	3 000	270	222	1.72	9	xz3000-0411a	33	13	25
7	3 000	90	280	1.87	8	xz3000-0411a	33	13	25
6	3 000	270	220	1.87	8	xz3000-0411a	33	13	25
5	3 000	90	290	2.35	7	xz3000-0411a	33	13	25
4	3 000	270	220	1.43	10	xz3000-0411a	33	13	25
3	3 000	90	285	1.52	10	xz3000-0411a	33	13	25
2	3 000	270	220	1.65	10	xz3000-0411a	33	13	25
1	3 000	90	290	1.68	10	xz3000-0411a	33	13	25

共飞行了16条航带,借助Optech ALIM Zinvier软件可以计算出点云的三维坐标。在 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 的样区内共采集了286 827个点。

根据徐州的实际地形,其平均高程为30 m,区内的最高楼不超过100层,其高程不超过330 m,位于贾汪区的最高山大东山的高程也不超过362 m,据此我们设置370 m为极限高程,扫描整个样区的点云去除超过此值的点云,保留了286 752个点。

根据我国的百米网格规划,将整个项目区划分为70个 $1\text{ km}^2$ 的子区(见图3),每个子区划分为 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 的评价单元网格。如子区11206的评价流程见图4,泉山区城市土地集约利用程度评价结果见图5。

### 4 实验结果与讨论

从评价结果可以看出,泉山区的北部整体土地集约利用的程度比较高,东部的土地集约利用程度不高,主要原因是东部的土地利用以工厂和物流用地为主,东部机场周围限制房屋的高度所致,由此可见其评价结果基本与实地的土地利用强度一致,说明LDAR点云是一种用于评价城市土地集约利用水平的有效手段。但是仅仅利用LDAR数据无法区分不同土地利用类型的集约利用程度,如果辅助地籍数据,将能够获取不同的土地利用类型土地集约利用的强度,从而为该地区的城市优化布局提供更可靠的依据。

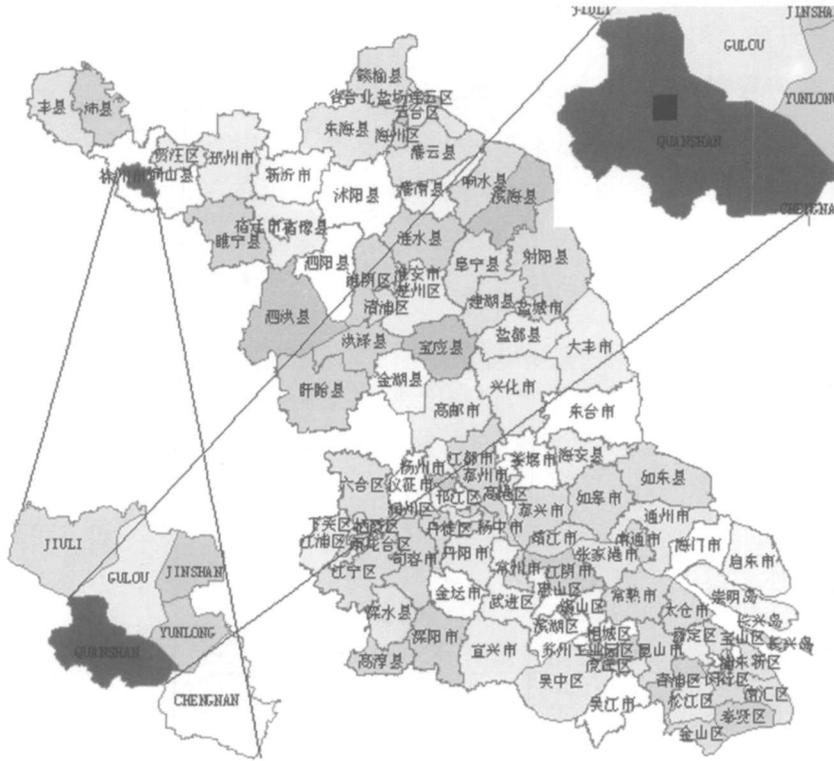


图 2 研究区域地理位置

Fig.2 Location of research area

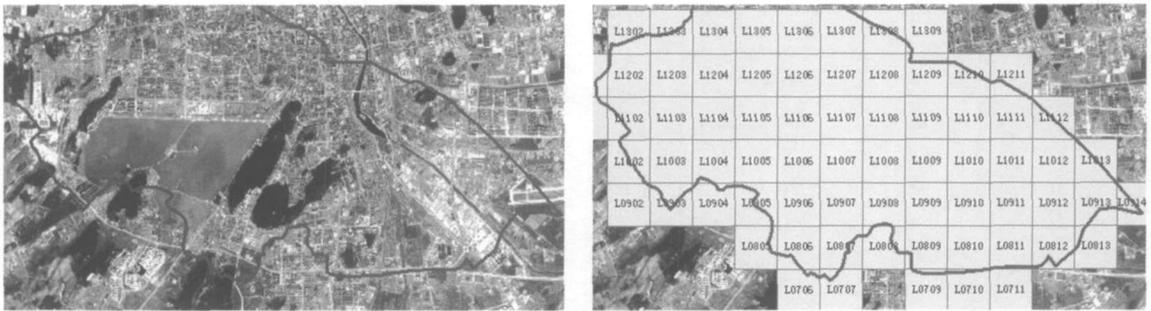


图 3 研究区域的卫星影像图及其子区划分与编号

Fig.3 Satellite image map and 70 sub zone and their code of research areas

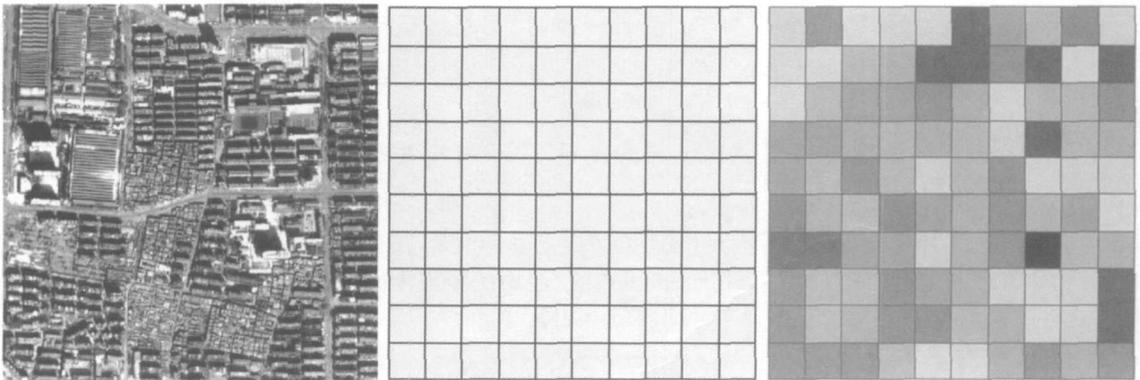


图 4 子区 I1206 的评价流程

Fig.4 The workflow of cell evaluation value in sub zone I1206

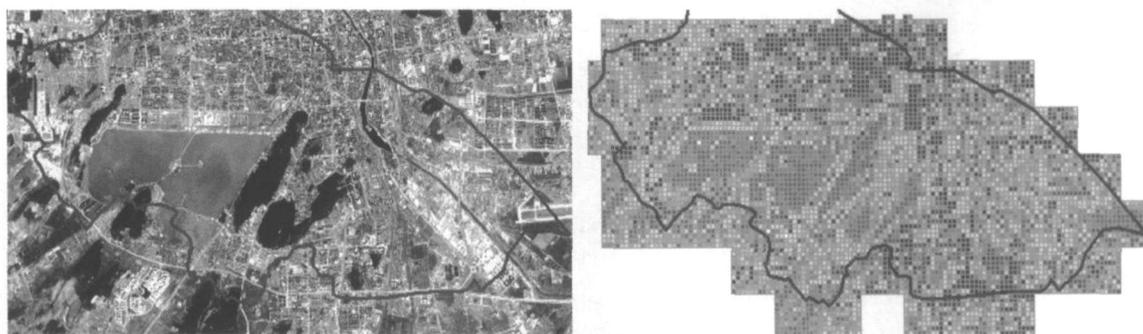


图5 徐州市泉山区城市土地集约利用程度评价结果

Fig.5 Urban land intensive use assessment of Quanshan district Xuzhou city

## 5 结束语

实验结果表明,基于高密度、高精度 LDAR 点云数据进行处理和分析是一条有效地高效地评价城市土地集约利用程度的途径,该方法获得的结果将为城市土地节约利用规划、提成城市理性发展水平提供重要的支撑,为城市经济的健康发展提供依据。

研究提出了基于 LDAR 点云数据自动评价城市土地集约利用水平的方法和步骤。建筑物与植被的高效准确提取仍然是本研究的核心。借助激光脚点的光谱信息将会大大提高点云分类的精度,是下一步研究的核心。今后将从以下方面做深入的研究:

第一,由于没有真实的房屋数据作为验证,因此尚没有对房屋的提取精度做深入的研究,有待进一步加强。特别是在无真实数据的情况下其误差模型将是以后研究的核心。

第二,LDAR 点云具有海量数据的特点,文章提出的划分子区和评价单元的方法,一定程度上解决了海量 LDAR 点云数据分析与利用的问题,但是我们也发现了由此带来的新的问题,单元边界如何处理,最佳评价单元尺寸,有关海量点云数据的处理,[12]提出了流处理的模型,一定程度上缓解了小内存分析大数据量的问题,但是这种解决方案是在承认地理学局部相似性的基础上提出的,在城市地区地表物体的渐变与突变共存,获取的数据是微观信息而提取的信息却是宏观要素,如何在两者之间达到统一就必须考虑分析尺度问题,因此最佳评价单元尺寸的确定将是以后研究的热点。

第三,城市土地集约利用评价的内涵极其丰富,仅仅考虑建筑物和植被信息所得到的结果其可靠性和可用性尚需要进一步研究。

## [参考文献]

- [1] Zheng Zeqing Huang Xianjin, Zhong Taiyang et al. Review on the research of urban land intensive use assessment in china [J]. Journal of Shandong Normal University: Natural Science, 2008, 23(3): 89-93.
- [2] Zheng Xinqi W and Xiaoming W and Aiping et al. Estimation method of potentials for intensive use of urban parcels: A case of Jinan city [J]. Resources Science, 2005, 27(6): 71-75.
- [3] Secord J, Zakhor A. Tree detection in urban regions using aerial lidar and image data [J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2007, 4(2): 196-200.
- [4] Lodha S K, Fitzpatrick D M, Heimbold D P. Aerial lidar data classification using adaboost [C] // Sixth International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling (3PM 2007). Canada, 2007: 413-20.
- [5] Vem a V, Kumar R, Hsu S. 3d building detection and modeling from aerial lidar data [C] // CVPR 2006. Washington D. C.: IEEE Computer Society, 2006. 2 2 213-2 220.
- [6] Wang O, Lodha S K, Heimbold D P. A bayesian approach to building footprint extraction from aerial lidar data [C] // The Third International Symposium on 3D Data Processing. Washington D. C.: IEEE Computer Society, 2006. 192-196.
- [7] Gianfranco Forlani, Carla Nardinocchi, Marco Scatoni et al. Complete classification of raw LDAR data and 3D reconstruction of buildings [J]. Pattern Analysis & Applications, 2006, 8(4): 357-374.
- [8] Atharthy A, Bethel J. Heuristic filtering and 3d feature extraction from lidar data [C] // ISPRS Commission III, Symposium 2002, Graz, 2002. 29-35.

- [ 9 ] Haithcoat T L, Song W, Hipple J D. Building footprint extraction and 3-d reconstruction from lidar data[C] // IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas 2001: 74-78.
- [ 10 ] Hu J, You S, Neumann U. Integrating lidar, aerial image and ground images for complete urban building modeling[C] // 3DPVT'06. Washington D. C.: IEEE Computer Society, 2006: 184-191.
- [ 11 ] Isenburg M, Liu Y, Shewchuk J et al. Generating raster dem from mass points via tin streaming[C] // Proceedings Geographic Information Science, 2006: 186-198.
- [ 12 ] Joachims T. SVM light 2009[DB/OL]. [http://www.cs.cornell.edu/people/tj/svm\\_light](http://www.cs.cornell.edu/people/tj/svm_light)
- [ 13 ] Pauly M. Point primitives for interactive modeling and processing of 3d geometry[D]. Zurich: ETH, 2003.
- [ 14 ] Priestnall G, Jaafar J, Duncan A. Extracting urban features from lidar digital surface models[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2000, 24(2): 65-78.
- [ 15 ] Rottensteiner F. Automatic generation of high-quality building models from lidar data[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2003, 23(6): 42-50.
- [ 16 ] Faith C, Zakhora A. Constructing 3d city models by merging aerial and ground views[J]. IEEE Computer Graphics and Applications, 2003, 23(6): 52-61.
- [ 17 ] You S, Hu J, Neumann U, Fox P. Urban site modeling from lidar[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2003: 579-588.

[责任编辑: 陆炳新]