引文格式：赵东旭,龙奇勇,柳翠明,等. 一种房屋建筑承灾体高度的快速自动估算方法[J]. 地理空间信息, 2023, 21(11): 123-126. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2023.11.030

一种房屋建筑承灾体高度的快速自动估算方法

赵东旭[1,2]，龙奇勇[1,2]，柳翠明[1]，韩珊珊[1,2]，李　鹏[1]
（1. 广州市城市规划勘测设计研究院，广东 广州 510060；
2. 广东省城市感知与监测预警企业重点实验室，广东 广州 510060）

摘　要：为满足大范围房屋建筑承灾体高度高效调查的需求，提出了一种顾及房屋结构的建筑物高度快速自动估算方法。首先基于LiDAR点云制作区域数字高程模型和数字表面模型，获取地面和地表高程矢量点；然后利用1∶500地形图数据对房屋结构进行解析，确定房屋底部和顶端高程计算面；最后以高程计算面内点要素的高程均值作为底部和顶端高程，进而求差计算房屋高度。以广州市南沙区范围内的532栋房屋建筑对象为实验对象，该方法得出的建筑高度与不动产登记资料的实际高度误差约有84.21%在0.2 m之内，表明该方法效率高、精度可靠，能满足大范围房屋高度快速调查的需求。

关键词：LiDAR点云；房屋建筑；承灾体；高度；估算
中图分类号：P232　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）11-0123-04

Rapid and Automatic Estimation Method for the Height of Building Hazard-bearing Body

ZHAO Dongxu[1,2], LONG Qiyong[1,2], LIU Cuiming[1], HAN Shanshan[1,2], LI Peng[1]
(1. Guangzhou Urban Planning & Design Survey Research Institute, Guangzhou 510060, China;
2. Guangdong Enterprise Key Laboratory for Urban Sensing, Monitoring and Early Warning, Guangzhou 510060, China)

Abstract: In order to meet the needs of high-efficiency investigation on the height of large-scale building hazard-bearing body, we proposed a rapid and automatic estimation method for building height considering the building structure in this paper. Firstly, we made the regional digital elevation model and digital surface model based on LiDAR point clouds, and obtained the ground and surface elevation vector points. Then, we analyzed the building structure using 1∶500 topographic map data, and determined the elevation calculation surface of bottom and top of building. Finally, taking the average elevation of point elements in the elevation calculation plane as the bottom and top elevation, we calculated the difference to obtain the house height. Taking 532 buildings in Nansha District, Guangzhou City as the experimental objects, the error between building height obtained by this method and the actual height of real estate registration data is about 84.21%, within 0.2 m, indicating the method proposed in this paper is efficient, accurate and reliable, and can meet the needs of rapid survey of large-scale building height.

Key words: LiDAR point cloud, building, hazard-bearing body, height, estimate

现代社会房屋已不仅承担居住功能，越来越多的生产活动也在室内进行，房屋安全与人们生命财产安全的关系日益密切[1]。然而，地震、台风、山体滑坡、墙体变形开裂等都会对房屋安全造成严重威胁，因此利用多源遥感等技术对灾害进行监测预防越来越为人们所关注[2-4]。为提高房屋安全保障能力，确保人民生命财产安全，2020—2022年我国开展了第一次全国自然灾害综合风险普查[5]。房屋建筑承灾体调查作为普查的重要组成部分，调查内容涵盖了房屋的基本信息、建筑信息、使用情况等属性内容，房屋建筑高度是重要的调查属性之一[6]。传统建筑高度量测方法可分为三角高程测量[7-9]等高精度的专业测量方法，皮尺测量、测距仪测量等简单测量方法和目视测量3类，其中高精度量测和简易量测都需要较大的时间人力成本，不适合大规模调查；目视法虽简易快捷，但精度有限，尤其对于视野受限或高度较高的房屋，不同调查人员在不同时期的估算值难以一致。近年来，更多研究开始关注新型技术在高度计算中的应用，如基于影像建筑物阴影的高度估

收稿日期：2022-06-23。
项目来源：广东省重点领域研发计划资助项目（2020B0101130009）；广东省城市感知与监测预警企业重点实验室基金资助项目（2020B121202019）；广州市城市规划勘测设计研究院科技基金资助项目（RDI2210201071）。
第一作者简介：赵东旭（1993—），硕士，工程师，研究方向为遥感与地理信息应用，E-mail：dongxuzhao@whu.edu.cn。

算方法，自动化程度与处理效率较高，但精度有限[10-12]；利用激光点云估算房屋高度，李小红[13]利用数字表面模型（DSM）估算城市建筑物层数和高度，但并未考虑房屋的结构差异，王苑楠[14]等利用激光点云进行城市建筑物高度普查研究，但自动化程度不高。针对上述问题，本文提出了一种利用LiDAR点云和城市1∶500大比例尺地形图数据进行房屋建筑高度快速自动估算的方法，并在实际房屋调查工作中进行了验证。结果表明，该方法速度快、效率高、精度好，能满足大范围房屋调查中房屋高度估算的需求。

1 技术思路与方法

首先利用LiDAR点云制作城市数字高程模型（DEM）和DSM，并利用城市大比例尺地形图数据进行房屋结构解析；再基于DEM、DSM和房屋结构解析结果，计算房屋建筑对象的地面高程和屋顶高程；最后求差获得房屋的高度估算结果。具体实施思路见图1。

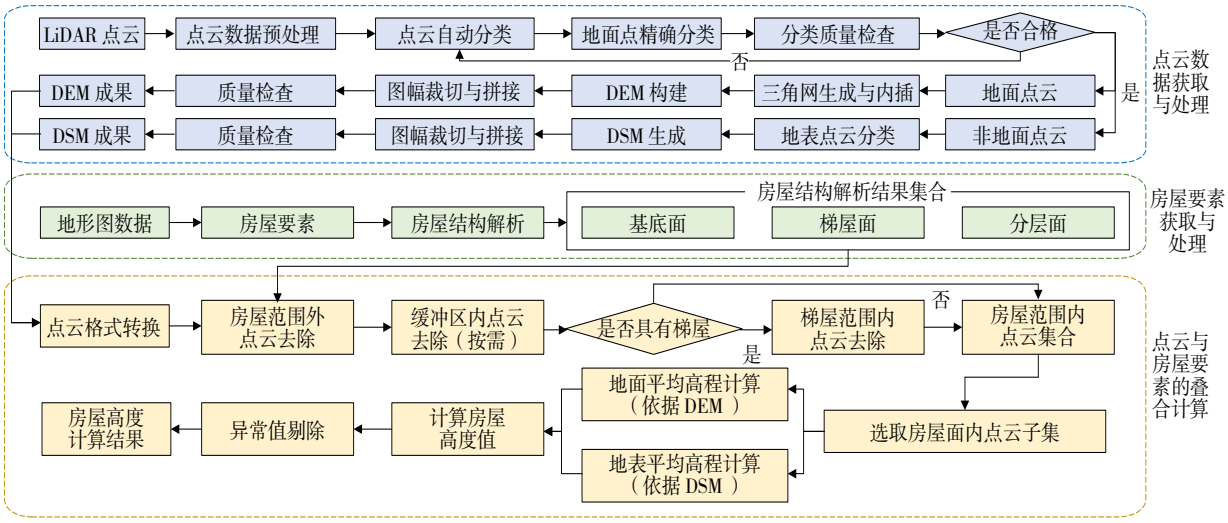


图1 技术路线图

1.1 LiDAR点云数据获取与处理

为获取精确的地面和地表高程，本文利用LiDAR点云生产DEM和DSM。首先对惯导系统输出的差分GPS数据和IMU数据进行解算，得到实时位置数据；再利用定位定向数据、点云原始信息和各类参数进行解算，得到每个点的三维坐标（随机分布的具有高程、位置、强度等信息的激光点云），采用LAS格式存储。LiDAR点云采集一次可生成两种成果，即DSM可基于DEM中间成果生成。其关键点在于，对采集的点云数据进行预处理、分类和分类质量检查，再将点云区分为地面点和非地面点，并利用地面点和非地面点分别生成DEM与DSM成果。根据得到的DEM、DSM成果，将点云分为地面和地表具有高程信息的矢量点要素，便于与地形图房屋要素数据进行空间计算。

1.2 房屋结构解析

城市1∶500大比例尺地形图数据具有丰富的房屋空间位置和几何特征信息，是进行房屋高度估算的必要辅助数据。通过地形图房屋要素的位置范围可精确确定需要使用的点云数据范围，极大地提高了高度估算精度。为选择正确的房屋底部和顶端高度起算面，需对房屋要素结构进行解析。房屋组成要素包括房屋基底面、房屋分层面、廊房、飘窗等，其中房屋基底面是房屋底部地基的轮廓范围，可作为高度起算面；房屋天顶面是房屋顶部的主要范围面，可作为高度截止面（图2中蓝色建筑面积所示）。

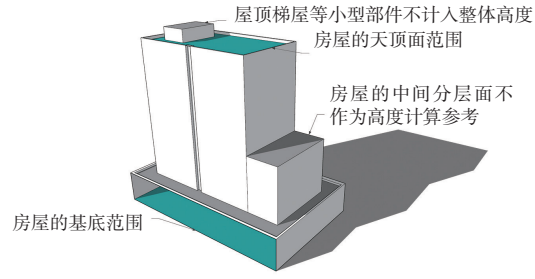


图2 房屋结构解析与高度计算关系示意图

在1∶500大比例尺地形图中，不同类型的房屋构件要素均赋予了不同的要素编码，因此可利用要素编码快速提取房屋构件。本文将房屋结构解析为基底面、天顶面和其他房屋面3类，基于清华山维EPS软件，利用VB语言二次开发的自动化处理脚本提取目标要素，并将提取结果存储为不同的矢量面图层。

1.3 基于地形图房屋要素的建筑高度计算

对于大范围的房屋高度估算工作，点云和房屋构件矢量的数据体量巨大，因此需剔除无关要素。

记所需调查的全部房屋集合为 $A\{a_1, a_2, a_3, \cdots, a_i, \cdots, a_n\}$，$a_i$ 为一栋单独房屋，n 为房屋总数；记房屋要素基底面为 $A_e\{a_{e1}, a_{e2}, a_{e3}, \cdots, a_{ei}, \cdots, a_{en}\}$、天顶面为 $A_s\{a_{s1}, a_{s2}, a_{s3}, \cdots, a_{si}, \cdots, a_{sn}\}$、其他房屋要素面为 $A_t\{a_{t1}, a_{t2}, a_{t3}, \cdots, a_{ti}, \cdots, a_{tn}\}$；记由 DEM 转换得到的矢量点云集合为 $E\{e_1, e_2, e_3, \cdots, e_i, \cdots, e_p\}$，$e_i$ 为独立的一个地面矢量点，p 为地面矢量点云总数；记由 DSM 转换得到的矢量点云集合为 $S\{s_1, s_2, s_3, \cdots, s_i, \cdots, s_k\}$，$s_i$ 为独立的一个地面矢量点，k 为地面矢量点云总数。

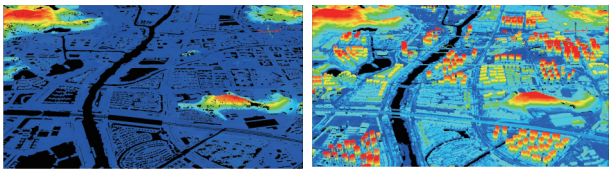
首先，剔除多余的点云要素和房屋边缘点云要素：①依次遍历 S 的子要素 s_i，若 s_i 位于 A_t 空间范围内或 A_s 空间范围外，则剔除 s_i，处理后的 S 子集记为 $S_x\{s_{x1}, s_{x2}, s_{x3}, \cdots, s_{xn}\}$；②依次遍历 E 的子要素 e_i，若 e_i 位于 A_e 空间范围外，则剔除 e_i，处理后的 E 子集记为 $E_x\{e_{x1}, e_{x2}, e_{x3}, \cdots, e_{xn}\}$。

然后，计算房屋的天顶高程和基底高程：①对于 A 中的一栋房屋要素 a_i，获取其在 A_s 中对应的天顶面要素 a_{si}，进而获取在 a_{si} 范围内的 S_x 子集 $S_{xj}\{s_1, s_2, s_3, \cdots, s_j\}$，则 a_i 的天顶高程 $h_{ai}^s = \frac{1}{j}\sum s_j$；②获取 a_i 在 A_e 中对应的基底面要素集合 a_{ei}，进而获取在 a_{ei} 范围内的 S_x 子集 $S_{xl}\{s_1, s_2, s_3, \cdots, s_k\}$，则 a_i 的基底高程 $h_{ai}^e = \frac{1}{k}\sum s_k$。

最后，计算房屋 a_i 的高度：$H = h_{ai}^s - h_{ai}^e$。对 $A\{a_1, a_2, a_3, \cdots, a_i, \cdots, a_n\}$ 中每个要素重复上述计算，直至完成全部房屋建筑调查对象的高度估算。

2　应用案例

本文数据通过 Riegl LMS-Q1560 采集，平均点密度优于 1.5 点/m²，点云像控点精度为平地 0.1 m、丘陵地 0.1 m（0.2 m）、山地 0.2 m、高山地 0.2 m，成图比例尺为 1∶2 000。其中，像控点相对邻近基础控制点的高程中误差不超过基本等高距的 1/10。基于点云数据制作生产 DEM、DSM，实验区的地面、地表点云成果示例见图 3。



a 地面点云　　b 地表点云

图 3　实验区地面、地表点云数据示例图

本文以南沙区核心区城镇、农村建筑均有分布的片区为实验区（图 4），红线为实验区范围，黄色图斑为建筑物范围面；选取房屋建筑对象 532 栋，首先通过本文方法估计区域内房屋的建筑高度，再通过查询房屋不动产登记资料等获取实际高度值，以评价估算结果质量。实验结果表明（图 5），本文方法估算的房屋高度结果误差整体在 1 m 之内，能满足房屋建筑承灾体调查的精度要求[15]，约 84.21% 的误差在 0.2 m 之内。对于误差较大的情况，其原因主要为：①点云与地形图数据配准存在水平误差，导致计算高程自动选取的点云中包含不同程度的错误点数据；②部分城市房屋屋顶设有热水器、水箱等，点云处理无法完全去除，影响精度；③部分区域点云数据存在噪声。

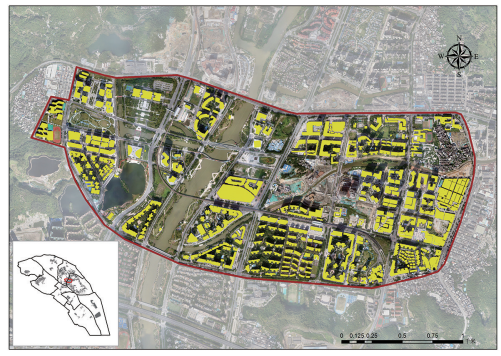


图 4　实验区范围与房屋分布示意图

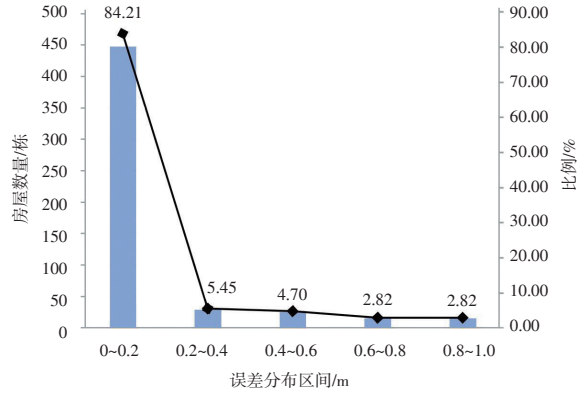


图 5　实验结果误差分布图

3　结　语

房屋建筑是人类社会活动的主要场所，房屋安全就是社会生产安全。建筑高度是房屋的重要属性，对房屋安全评估和灾害评估治理十分重要，但传统调查方法效率低下，不适合大面积调查的开展，因此本文利用 LiDAR 技术进行大范围房屋高度快速估算的研究和实验。相较于传统依靠人力排查的方法，该方式成本更低、效率更高。测试结果表明，本文方法精度可靠，能更好地适应房屋建筑承灾体调查、地理国情普查等[16]大范围房屋调查高度估算的需求；同时，采集生成的 DEM、DSM 数据也能为智慧城市建设、城市洪涝分析等[17-18]提供支持。

本文的不足之处在于：采用作业范围已有的城市1∶500大比例尺地形图数据作为建筑物范围数据，而LiDAR数据采集生成的DOM等成果仅用于核实、补充地形图中的建筑物范围等更新工作；基础测绘工作不完善，如未进行大比例尺测绘、测绘区域较少等地区更多需要依靠DOM成果进行建筑物范围识别，因此需要更多的人工交互；该方法更适用于大范围普查性房屋高度的估算，对于精细的专业量测需求略显无力，这也是后续研究和改进的方向。

参考文献

[1] 史铁花,王翠坤,朱立新. 承灾体调查中的房屋建筑调查[J]. 城市与减灾,2021(2):24-29

[2] 张勤,赵超英,陈雪蓉. 多源遥感地质灾害早期识别技术进展与发展趋势[J]. 测绘学报,2022,51(6):885-896

[3] 陈兴芳,张福存,王晓东,等. 基于时序InSAR技术的山体滑坡灾害监测研究[J]. 测绘工程,2020,29(5):45-49

[4] 许强,朱星,李为乐,等. 为天—空—地”协同滑坡监测技术进展[J]. 测绘学报,2022,51(7):1 416-1 436

[5] 于静,张宁,武彦清. 第一次全国自然灾害综合风险普查:房屋建筑和市政设施调查底图制备和软件系统建设实践[J]. 中国建设信息化,2021(23):36-39

[6] 吴吉东,张化,许映军,等. 承灾体调查总体情况介绍[J]. 城市与减灾,2021(2):20-23

[7] 李会林. 异点双站测高在超高建筑验收测量中的应用[J]. 城市勘测,2019(1):134-138

[8] 曾庆伟. 全站仪中间法三角高程测量精度分析及应用研究[J]. 测绘与空间地理信息,2020,43(3):22-25

[9] 林连溪. 一种高度测量方法的探讨[J]. 测绘与空间地理信息,2014,37(9):201-203

[10] 陈海鹏,简益波,叶苗. 基于地震风险调查的建筑物高度快速提取方法研究[J]. 城市建筑,2021,18(26):133-136

[11] 唐昊,冯德俊,曹文峰,等. 顾及侧面信息的建筑物高度估算[J]. 遥感信息,2021,36(4):63-67

[12] 程国旗,张继贤,李阳春,等. 高分影像建筑物阴影优化提取与高度估算[J]. 测绘科学,2020,45(8):103-109

[13] 李小红. 基于DSM的城市建筑物高度提取方法的研究[J]. 华北自然资源,2020(5):97-98

[14] 王苑楠,汪小楠. 基于激光点云的城市建筑高度普查[J]. 城市勘测,2017(1):23-26

[15] 汪明. 第一次全国自然灾害综合风险普查总体技术体系解读[J]. 城市与减灾,2021(2):2-4

[16] 曹学礼,曹建明. 基于激光点云的建筑高度信息采集技术研究[J]. 测绘通报,2016(增刊2):219-221

[17] 蒯希,贺彪,罗恒,等. 城市空间三维地图及其在智慧城市中的应用[J]. 测绘地理信息,2021,46(1):66-70

[18] 许可芃. 基于改进DEM的上海城市洪涝模拟与风险应对[D]. 上海:华东师范大学,2022

[19] 叶子伟,林昀,吴敦. 基于机载激光点云的建筑物高度提取方法研究[J]. 地理空间信息,2017,15(2):52-54

（上接第51页）

[10] 柳晶辉,杨坤,张力. 丹江口库区土地利用/覆被与景观格局变化[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(3):456-460

[11] 秦钰莉,文力,魏鹏飞,等. 丹江口水库库周景观格局动态变化分析[J]. 人民黄河,2019,41(4):69-73

[12] 张建,雷刚,漆良华,等. 2003—2018年土地利用变化对丹江口市景观格局与生态服务价值的影响[J]. 生态学报,2021,41(4):1 280-1 290

[13] 杨晓红,张双双,汪鑫. 基于地理国情数据的土地利用景观格局分析[J]. 地理空间信息,2019,17(10):32-36

[14] 齐润冰. 基于景观格局指数的生态风险定量评价[J]. 测绘通报,2019(增刊1):110-112

[15] 屈永慧,张学雷,任圆圆,等. 土壤空间分布多样性与景观指数的关联分析[J]. 土壤通报,2014,45(6):1 281-1 288

[16] Ritters K H, O'Neill R V, Hunsaker C T, et al. A Factor Analysis of Landscape Pattern and Structure Metric[J]. Landscape Ecology,1995,10(1):23-39

[17] 布仁仓,胡远满,常禹,等. 景观指数之间的相关分析[J]. 生态学报,2005,25(10):2 764-2 775

[18] 张淑,周忠发,张文辉,等. FAST电磁波宁静区植被覆盖度及景观格局时空变化[J]. 长江流域资源与环境,2021,30(9):2 126-2 137

[19] 雷金睿,陈宗铸,陈毅青,等. 1990—2018年海南岛湿地景观格局演变及其驱动力分析[J]. 生态环境学报,2020,29(1):59-70

[20] Mcgarigal K, Compton B W, Plunkett E B, et al. A Landscape Index of Ecological Integrity to Inform Landscape Conservation[J]. Landscape Ecology,2018,33(7):1 029-1 048

[21] Nowosad J, Stepinski T F. Global Inventory of Landscape Patterns and Latent Variables of Landscape Spatial Configuration[J]. Ecological Indicators,2018,89:159-167

[22] Shen Z H, Li Y Y, Yang K, et al. The Emerging Cross-disciplinary Studies of Landscape Ecology and Biodiversity in China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2019 ,29(7):1 063-1 080

[23] 孙才志,闫晓露,钟敬秋. 下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局[J]. 生态学报,2014,34(2):247-257