引文格式：王越,谭仁春,罗琼,等. 利用车载LiDAR的城市道路地理实体构建与应用[J]. 地理空间信息, 2025, 23(4):83-86. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.04.018

利用车载LiDAR的城市道路地理实体构建与应用

王　越[1,2,3]，谭仁春[1,2,3]，罗　琼[1,2,3]，王树根[4]，李凤华[1]
（1. 武汉市测绘研究院，湖北 武汉 430022；2. 武汉市自然资源和规划信息中心，湖北 武汉 430014；
3. 武汉自然资源创新研发中心，湖北 武汉 430014；4. 武汉大学遥感信息工程学院，湖北 武汉 430079）

摘　要：设计了一种基于车载LiDAR系统的城市道路基础地理实体构建技术路线。以移动测量车所获取的点云数据为主、影像数据等为辅，在对源数据进行预处理的基础上，经过图元数据采集、属性信息采集、道路实体构建、语义化处理等步骤，实现了高精度的城市道路基础地理实体数据获取，为新型基础测绘建设的地理实体数据采集与更新提供了新的技术路径。相较于从地形图要素转换地理实体的方法，该方法不仅能同时获取二维和三维表达形式的道路实体数据，还有利于提高道路实体数据的空间精度和精细程度。通过对武汉市中心城区某实验区域的道路地理实体生产实践表明，所提出的方法是可行且有效的，所构建的道路地理实体成果已在新型基础测绘、市政道路调查、道路交通仿真等领域逐步推广应用。

关键词：车载LiDAR；城市道路；基础地理实体；点云
中图分类号：P225　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）04-0083-04

Construction and Application of Urban Road Geographical Entity Based on Vehicle-borne LiDAR

WANG Yue[1,2,3], TAN Renchun[1,2,3], LUO Qiong[1,2,3], WANG Shugen[4], LI Fenghua[1]
(1. Wuhan Geomatics Institute, Wuhan 430022, China;
2. Wuhan Natural Resources and Planning Information Center, Wuhan 430014, China;
3. Wuhan Natural Resources Innovation Research and Development Center, Wuhan 430014, China;
4. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: In this paper, we designed a technology route of urban road basic geographical entity construction based on vehicle-borne LiDAR. Based on the point cloud and image data obtained by the mobile measuring vehicle, we obtained the basic geographical entity data of urban roads with high accuracy through the steps of metadata collection, attribute information collection, road entity construction and semantic processing on the basis of source data processing, which could provide a new technical path for the collection and update of basic geo-entity data in the new basic surveying and mapping construction. Compared with the method of converting basic geographical entities by topographic map elements, this method can not only obtain road basic geographical entity in both 2D and 3D expression forms, but also improve the spatial accuracy and precision of road basic geographical entity data. Through the production practice of road geographical entities in an experimental area of Wuhan, we found that the method proposed in this paper was feasible and effective, and the constructed road geographical entities had been gradually applied in the fields of new basic surveying and mapping, municipal road survey, road traffic simulation and so on.

Key words: vehicle-borne LiDAR, urban road, basic geographical entity, point cloud

随着测绘地理信息转型升级需求的不断增强，基础地理实体已逐渐成为未来新型基础测绘的主要数据成果内容和产品服务形式[1-3]。城市道路基础地理实体（下文简称“道路实体”）作为城市级地理实体建设的主要内容之一，是描述城市路网及交通设施空间信 息的重要载体[4]。基础地理实体数据的获取方式主要包括从地形图 要素转换生产和实体数据直接采集生产2种方式[5]。目前实际生产中，道路实体数据多采用要素转换的生产方法，即以大比例尺地形图为主要数据源，通过数据抽取、图形编辑和属性融合等处理，实现对存量地形图道路要素数据的实体化改造[6-7]。该方法虽能较好地适用于二维道路实体数据的转换生产，却难以获取三维表达形式的道路实体。此外，由于存量地形图只对道路要素的主体边线和中心线作了概略表达，导致通过地形图要素转换生产获取的道路实体的精细程度较低，不利于道路基础地理数据的应用拓展。本文以车载LiDAR所获取的源数据为基础，设计了一种新型

项目来源：湖北省自然资源科技项目（ZRZY2023KJ23、ZRZY2024KJ27）。
第一作者简介：王越（1989—），硕士，注册测绘师，工程师，主要从事LiDAR技术相关的研究及应用工作，E-mail：ywangwhu@163.com。

的城市道路实体采集与构建技术路线，可实现更精细、更准确的道路实体信息获取。通过对武汉市中心城区某实验区域的道路实体构建和质量检查表明，本文方法是行之有效的，该方法所获取的道路实体数据可满足新型基础测绘建设的成果要求。

1 基于车载LiDAR的道路实体构建技术路线

利用车载LiDAR技术构建道路实体的流程包括源数据采集、车载激光点云数据处理和道路实体数据采集与构建3个阶段。

源数据采集的主要内容是利用移动测量车对道路进行扫描，作业时需保证对道路路面、交叉口及路侧设施的全覆盖，以获取无漏洞、高密度的道路点云数据；点云数据处理包括数据解算、坐标转换、高程精化和位置纠正等步骤，以确保点云精度能够满足二三维道路图元提取的要求；道路实体数据采集与构建以道路点云和全景影像为依据，在部分典型道路实体的智能化提取结果基础上，半自动地采集道路实体图元的矢量图形及属性信息，再经过语义化等处理，最终生成道路实体数据成果。

2 车载LiDAR数据采集与处理

2.1 源数据采集

本文选用的车载LiDAR系统搭载了三维激光扫描仪、高清全景相机、定位定姿系统（POS）以及里程计（DMI）等设备，采集内容包括道路激光扫描数据和全景影像、基于CORS基准站的车载设备定位数据，以及外业控制点信息3个方面[8]，具体采集方法为：

1）激光扫描和全景影像数据。按照预设的采集线路，利用移动测量车开展道路激光扫描和全景影像数据同步采集。为尽可能确保所获取的道路点云的完整性和影像质量，对于路况或交通情况较复杂的特殊路段，宜往返进行多次扫描，以消除由于遮挡等原因造成的点云漏洞及弱纹理区域的影响。

2）车载设备定位数据。为提高车载设备定位精度，本文通过融合测区WHCORS基准站观测数据与车载GNSS终端动态观测数据，采用多源数据联合差分处理技术，实现车载设备厘米级精度的定位。

3）外业控制点信息。为提高点云的位置精度，需沿道路采集适量的外业控制点信息，用于点云位置纠正及成果质量检查。

2.2 点云数据处理

车载激光点云数据作为道路实体图元采集的主要数据源，它的位置精度是决定道路实体构建精度的关键。为确保道路实体数据的成果质量，需对点云数据进行以下处理：

1）点云坐标转换。参照地方道路实体数据成果的坐标基准要求，对解算获得的初始点云数据进行坐标转换。其中，点云平面坐标需由WGS-84坐标系转换至WH2000坐标系；高程坐标则需基于测区似大地水准面精化模型，归算至1985国家高程基准。

2）点云位置纠正。城市复杂环境下，GNSS信号受建筑物与高架结构的多路径效应影响易产生定位漂移，导致点云坐标可能存在偏差。本文采用了一种分层优化的点云位置纠正策略：首先基于点云几何特征进行邻接区域分块点云的两两配准，实现局部点云的精匹配；继而通过外业控制点进行整体平差，实现全局点云的空间一致性优化。

3）点云去噪。利用点云数据处理软件HD_3LS_SCENE，对车辆、行人等与道路目标物无关的局部离群噪声点进行自动剔除；为尽可能减少数据冗余，还可根据道路宽度建立缓冲区，只保留道路范围内的点云。

4）点云分类。道路点云分类主要包含3个阶段：首先，结合POS轨迹高程约束与道路要素空间分布特性，构建自适应高程滤波模型，提取路面及附属设施的目标点云形成基础数据集；接着，采用人工设计特征与深度学习相结合的方法，构建包含几何拓扑、反射强度的多层次特征描述体系；最后，基于自主研发的车载点云目标分类算法，实现道路典型要素的智能识别与精细化分类。

5）点云与影像配准。利用全景拼接软件HDPano-Factory，将与点云同步采集的多镜头影像拼合成全景影像，并完成点云与全景影像的精确配准，借助丰富的影像纹理信息来辅助道路实体的构建。

3 道路实体数据采集与构建

3.1 图元数据采集

道路图元采集主要利用国家新型基础测绘建设武汉试点项目中自主研发的全息采集生产地理实体软件，通过人机交互的方式，在图元采集生产模块中开展道路图元立体采集和编辑。为提高道路实体生产效率，可基于点云分类结果自动提取道路图元的矢量图形，实现对部分典型道路实体的智能化采集[9-10]。

二维道路图元采集具体要求如下：①点图元：采集定位点，定位点取其落地几何中心点或标志性特征点，有向点应确定其方位角；②线图元：采集定位线，定位线取其轮廓线或中心线，并根据轨迹进行描绘，

走向应明确且衔接合理，其中道路边线应采集道路边缘与路缘石的交界处；③面图元：采集封闭面，按照不同的道路功能分区，依次对机动车道、非机动车道、人行道和绿化带进行构面，且不同功能分区的道路面之间互不重叠。

三维道路图元采集具体要求如下：①几何方面：体图元的几何框架应完整，且能准确表达道路及其附属设施的三维几何形态特征；体图元的空间位置和几何尺寸应与现状一致，且各组成部分之间的对应关系应真实准确；②粒度方面：体图元应按需采集，在满足模型细节层次的要求下，应尽量精简体图元的面片数量。③纹理方面：体图元的纹理应能如实反映道路路面材质、道路标线和交通标识等信息。

相较二维图元，三维图元需进行纹理映射。实际生产工作中，利用与点云同步采集的全景影像，在点云和影像配准前提下，通过建立三维图元每一面片与可用影像间的对应关系，实现纹理的自动裁切和映射。待全部三维图元完成自动纹理映射后，开展纹理质量人工检查。对于因遮挡、阴影、变形等原因造成的纹理映射不符合质量要求的图元，实施人工贴图，必要时还需利用其他数据源进行纹理填充和修复。

3.2　属性信息采集

道路实体的属性信息通常包括基本属性和扩展属性两部分。基本属性信息通常在图元采集过程中同步获取，也可在图元采集完毕后，通过挂接或关联既有其他类型的道路数据获取。而扩展属性信息一般采用数据融合技术，在实体语义化处理环节中获取。基本属性信息采集时，为避免相同属性信息的重复存储导致信息冗余，根据道路实体几何表达、属性存储及应用特征的不同，可将道路图元分为根图元、主体图元或构建图元[11]。例如将道路面作为根图元，存储道路名称、道路类型、道路面积等属性；将道路中心线作为主体图元，存储道路长度、道路宽度、路面材料、是否单行等属性。

3.3　道路实体构建

3.3.1　二维实体构建

根据道路实体的构建规则，二维道路实体包括道路面和道路中心线。为保证道路实体数据的连通性，道路实体构建前通常需对道路面图元进行一些特殊处理，即通过判定道路交叉口的起止位置和范围，将道路面图元在道路边线曲率发生变化的地方进行分割，划分为“路口–路段–路口”的组合形式。结合道路实体管理和应用的需求，二维道路实体的具体构建规则如下：①对于快速路、主干路、次干路和支路，若能以道路名称属性划定为独立道路，则单独构建实体；对于引道或内部道路，若无道路名称，则以可区分的道路范围面进行实体构建；②当某道路与其他道路（包括匝道、引道、辅道等）相交时，应在两者连接处进行打断，并分别构建实体；③当道路上设有桥梁或高架时，应将道路和其他实体分别进行实体构建；④利用道路面生成道路中心线，端点取至道路交叉口的中心点，且应保证道路中心线的连通。

3.3.2　三维实体构建

三维道路实体由体图元组成，以三维模型单体的形式进行表达，简称道路实体模型。道路实体模型由路面模型及道路附属设施模型构成，其中路面模型是道路实体模型的主体，而道路附属设施模型包含了与路面伴生存在的各类交通设施的三维模型。道路实体模型的构建分为三步：①道路三维重建。从点云中提取道路上各类要素的三维矢量信息，对路面及道路附属设施分别进行三维重建。所建立的三维模型应能准确反映道路实体的结构特征，对任一维度变化超过1 m的几何结构均需进行三维信息表达。此外，三维模型基底应与所处位置的地形处于同一水平面上，即与地形起伏相吻合。②模型纹理贴图。通过自动纹理映射和人工贴图相结合的方式，给道路实体模型赋予真实纹理。③模型场景整合。通过模型合并，将道路附属设施模型载入到路面模型中进行场景整合，实现高精细度的道路三维实体构建。

3.4　语义化处理

语义化是基础地理实体数据的重要特征之一，道路实体的语义化处理包括丰富实体扩展属性以及获取实体关系两项内容。目前，实体扩展属性获取方式主要包括基于标识信息关联、基于空间位置关联、基于知识图谱关联以及基于互联网数据关联4种方法。实体关系用于表达道路实体内部以及与其他实体之间的相互联系与作用，其获取内容主要包括几何构成关系、空间关系、类属关系以及时间关联关系数据等[3]。

本文在道路实体语义化处理过程中，建立了道路实体的空间身份编码，并将它作为道路实体的唯一标识。以该标识信息为依据，构建了道路实体与其他多源异构时空数据之间的映射关系，并将多源异构时空数据中所蕴含的属性作为道路实体的扩展属性。通过道路实体的空间身份编码可关联地名地址、城市信息模型（CIM）、城市交通管理、社会经济服务等数据，并支持空间计算与分析，以发挥道路实体作为与位置关联信息共享交换的纽带作用。此外，以空间身份编码为索引，对道路实体不同表现形式的

数据进行关联，并对实体关系进行规范化描述。

3.5 质量检查

道路实体的质量检查包括源数据质量和道路实体成果质量2个方面。源数据质量检查内容包括车载移动平台轨迹解算的正确性、道路点云覆盖的完整性、同一路段点云的重访误差、纠正后点云精度以及全景影像质量等。道路实体成果质量检查内容包括几何精度、完整性、逻辑一致性、属性精度以及关联关系等[12]。

为确保道路实体的成果精度，首先需检查纠正后的点云数据精度，应满足CH/T 6003—2016《车载移动测量数据规范》中车载激光点云I级精度的要求，即点位（平面）精度不低于0.1 m，高程精度不低于0.05 m。

在完成道路实体数据生产后，本文利用全站仪和RTK在武汉市某实验区域沿道路采集了30个检查点，通过实地测量的检查点坐标真值与道路实体数据中对应特征点坐标值进行对比，并分别计算平面精度和高程精度，结果如图1所示。

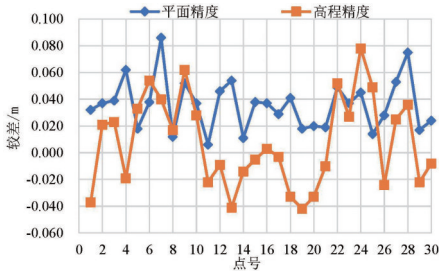


图1 道路实体数据精度计算结果

经计算，实验路段内的道路实体数据平面中误差为±0.040 m，高程中误差为±0.034 m，成果精度远优于城市级基础地理实体数据的几何精度要求。

4 道路实体数据成果应用

4.1 新型基础测绘与实景三维建设

地理实体是新型基础测绘产品体系的核心内容。本文以武汉新型基础测绘建设试点项目为依托，基于车载LiDAR技术实现了全市主要道路的二三维地理实体数据生产，构建了城市道路地理实体数据库，形成了“实体化、语义化、三维化”的新型基础测绘成果。在项目应用展示系统中，实现了二三维道路地理实体和地理场景的一体化表达，为实景三维武汉建设提供了有力支撑，确保了所建成的实景三维既美观又实用。

4.2 市政道路调查

市政道路是全国自然灾害综合风险普查对象中重要的承灾体类型。针对武汉市第一次市政道路调查项目中图表类成果管理和应用难的问题，以二三维道路实体数据为基础，绘制了武汉市市政道路信息“一张图”，搭建了市政道路管理应用平台，实现了道路调查信息的数据管理、综合查询、数据统计、专题分析和路径规划等功能，开创了市政道路调查成果管理和应用的新模式，提高了城市道路精细化管理水平[13]。

4.3 道路交通仿真

道路交通仿真对城市交通管理具有重要意义。道路实体模型中的路灯杆、信号杆、标识标牌等道路附属设施的位置、尺寸和朝向均与实际保持一致，实现了全覆盖、逼真化的道路三维空间表达，可为道路交通仿真平台提供准确详实的道路空间数据底座，进而可直观地模拟出交通流的不同状况，为城市交通规划管理和智能驾驶应用试点提供高精度的现状道路数据服务。

5 结 语

本文设计了一种基于车载LiDAR系统的城市道路基础地理实体构建技术路线，为道路实体数据的采集与更新提供了新的技术路径。该方法不仅能同时获取二维和三维表达形式的道路实体数据，还有利于提高道路实体数据的空间精度和精细程度。随着测绘地理信息转型升级需求的不断增强，道路实体数据不仅可满足新型基础测绘建设的成果要求，还进一步丰富了道路基础地理信息的表达形式和管理方式，展现出了广阔的应用前景。

参考文献

[1] 王瑞幺,严荣华,肖建华,等. 国家新型基础测绘体系建设试点的进展与思考[J]. 地理空间信息,2023,21(7):1-6

[2] 肖建华,李鹏鹏,李海亭,等. 国家新型基础测绘建设武汉试点中期实践与思考[J]. 测绘通报,2022(1):164-167

[3] 刘纪平,刘坡,翟亮,等. 基础地理实体的特征分析与表达初探[J]. 测绘科学,2023,48(8):1-9

[4] 李新双. 基于FME的道路面实体自动化处理技术研究[J]. 城市勘测,2023(1):70-73

[5] 张帆,黄先锋,高云龙,等. 实景三维中国建设技术大纲(2021版)解读与思考[J]. 测绘地理信息,2021,46(6):171-174

[6] 邹磊,杨鹏,曹文涛,等. 从存量地形图到地理实体的自动化生产实践[J]. 测绘通报,2022(12):147-152

[7] 林木棵. 城市存量道路要素自动构建地理实体研究[J]. 测绘科学,2023,48(3):57-63

[8] 王越,谭仁春,郭明武,等. 基于车载激光扫描的城市道路全要素地图生产[J]. 测绘标准化,2023,39(3):16-21

[9] Wang H，Luo H，Wen C，et al. Road Boundaries Detec-

（下转第118页）