引文格式：陈莉莉. 顾及精度与效率指标的道路竣工要素采集技术对比研究[J]. 地理空间信息, 2025, 23(2): 116-119. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.02.026

顾及精度与效率指标的道路竣工要素采集技术对比研究

陈莉莉[1]
（1. 上海市测绘院，上海 200063）

摘　要：随着新型基础测绘体系的建立与完善，以三维激光点云数据处理为核心的新型测绘技术得到普遍推广应用，三维激光扫描点云数据已经成为获取高精度三维信息的一种重要手段。为了从测绘精度和生产效率两方面探讨基于点云智能化采集相对于人工采集的优势，以上海市某道路竣工测量项目为案例，从道路竣工测量地物要素的位置精度及作业时间两方面，通过三维激光扫描采集和人工数据采集两种方式进行了对比分析，论证了基于智能点云算法进行道路竣工测量内业处理的精度可靠性和施测效率。

关键词：三维激光扫描；人工采集；智能采集；道路竣工；精度；效率
中图分类号：P258　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）02-0116-04

Comparative Research on Road Completion Element Collection Technology Based on Accuracy and Efficiency Indicators

CHEN Lili[1]
(1. Shanghai Surveying and Mapping Institute, Shanghai 200063, China)

Abstract: With the establishment and improvement of new basic surveying and mapping system, the new surveying and mapping technology with 3D laser point cloud data processing as the core has been widely popularized and applied. 3D laser scanning point cloud data has become an important means of obtaining high-accuracy 3D information. In order to explore the advantages of intelligent point cloud acquisition over manual collection from the aspects of surveying and mapping accuracy and production efficiency, taking a road completion survey project in Shanghai as a case, we compared and analyzed the location accuracy and operation time of road completion measurement ground feature elements in 3D laser scanning acquisition and manual data acquisition, and demonstrated the accuracy, reliability and measurement efficiency of internal processing of road completion measurement based on intelligent point cloud algorithm。

Key words: 3D laser scanning, manual acquisition, intelligent acquisition, road completion, accuracy, efficiency

随着GNSS技术、惯性导航技术、CCD成像及激光扫描技术的发展和成熟，车载激光扫描技术已经成为城市空间信息获取的一种趋势[1-6]。大量车载点云数据的提取效率也是测绘产品精度与效率的重要步骤。本文深度融合武汉大学智能点云算法，自主研发推出的智能全息测绘软件，具备成型的设计制图软件必备的基础功能，实现了智能化全息测绘体系对智能化点云软件的需求，推动了自然资源部在全国推行新型基础测绘体系，同时满足了新的国际国内形势下对软件国产化的实际需求。为进一步分析验证智能化全息测绘软件与传统基于点云人工采集软件在测绘精度和测绘效率两方面的差异，本文以某道路竣工项目为研究案例，探讨在车载三维激光扫描测量外业获取得到点云数据后人工内业采集与上海市测绘院CloudCompare智能采集软件自动化的精度和效率的比较，以定量分析2种采集手段在精度和效率方面的差异[7-10]。

1　项目概述

本文中以上海市浦东新区一条新建道路上川路（金群路-川南奉公路）竣工验收测量为例。市政道路竣工验收是市政交通建设工程规划管理过程中的一项重要监管措施。道路竣工验收测量包括道路边界线的测量、道路纵横断面测量、1∶500地形图测量等。上川路长度约为2 km，包含大量点状地物：如路灯、电杆、路标、探头等；线状地物：道路边线、绿化带边线、围墙、栅栏等；面状地物：绿化面、桥面等。道路竣工验收测量采集要素包含道路上几乎所有空间信息数据，在面对现代城市复杂多变的道路三维空间信息采集需求时，传统测量的人工采集方式不仅数据采集效率低、生产作业存在安全风险，而且难以全面捕

作者简介：陈莉莉（1976—），工程师，从事测绘工程及地理信息工作，E-mail：chenlili501@163.com。

捉城市部件的精细三维特征，相比之下，三维激光扫描技术凭借其高效、准确和快速的特点，正逐渐成为信息化时代数据采集的首选方法，能够在较短时间内获取大范围地物的高精度空间三维信息，极大地提高了数据采集的效率和质量。目前移动车载激光扫描技术较成熟，道路数据获取效率和精度都相对有了保障，但对获取得到的点云数据包含大量道路要素信息，如果采用人工识别作业的方式仍然有较大的工作量。本项目采用移动车载激光扫描采集道路信息相关数据，RTK和几何水准仪实测纠正点三维坐标，Copre软件解算点云数据，Corefine软件进行点云纠正作业，采用EPS2016以及Auto CAD软件进行图形编辑作业。经过车载扫描获取道路点云数据显示在EPS软件中如下图1所示。点云经过人工判读矢量化的结果如图2所示。

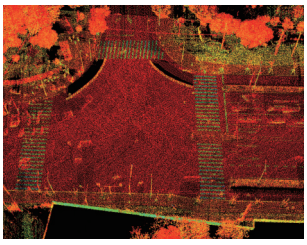


图1　车载扫描道路点云数据在EPS软件中的显示

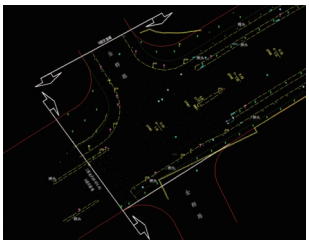


图2　点云处理矢量图

2　外业数据采集

车载激光扫描系统的工作机制基于GNSS和INS的组合导航技术，辅以车轮编码器的数据支持，以确保在任何给定时刻都能获得精确的大地坐标。同时，系统同步记录三维激光扫描仪在大地坐标系中的高低角、偏航角和滚动角数据。结合这些角度数据与被扫描对象间的方位角、高度角和距离，系统能够计算出地形地物在大地坐标系中的真实坐标，形成“点云”。

基于RTK和全站仪组合的人工采集技术是利用GPS基准站布设基准点，架设全站仪采集道路地形要素，利用水准仪从城市水准基准点接测至实施道路，然后进行散点测量从而获取道路标高，耗时长，人工多，还较容易出差错。

2.1　车载全景激光移动测量

三维激光扫描仪作为一种高精度的空间数据采集工具，在进行室外测量时，其与被分析物体的角度对空间测定结果的分辨率有着不可忽视的影响。在复杂的自然环境中，如室外树林、地形和水文条件的多样性，使得在道路扫描过程中必须合理选择基站的位置，这是确保数据准确性的关键步骤。基站的选址需要考虑到GNSS信号的接收质量，因此应选择信号良好的区域，以减少信号干扰，提高数据的可靠性。

在进行公路扫描竣工测量时，由于其涉及的范围通常较大、距离较长，扫描路径的确定对测量结果及其后续处理有着直接的影响。为了确保点云数据的完整性和准确性，测量工作最好在车流量较少的时段进行，这样可以减少交通对扫描过程的干扰。此外，采集车辆的时速应控制在20 km/h至40 km/h之间，并尽量保持匀速行驶，以减少速度变化对数据采集质量的影响。

在实际操作中，车辆应尽量行驶在道路中心，这样可以远离道路两旁可能遮挡GNSS信号的高大树木和建筑物。在扫描车进入测量区域前，需要进行几分钟的静态观测，以初始化POS系统，确保系统能够准确记录车辆的位置和移动轨迹。POS系统结合了导航卫星系统（如GPS）的卫星数据和惯性测量单元（IMU）的惯性导航数据，这对于确定车辆激光扫描系统的位置信息和轨迹至关重要。

现场扫描数据收集完成后，应及时对POS轨迹数据进行分析。这些数据包括了导航卫星系统的卫星数据和IMU惯性导航数据，它们共同作用于确定车辆激光扫描系统的位置信息和轨迹。通过智能软件对点云数据进行分类，可以提取出特征点和特征线，这对于后续的数据管理和分析至关重要。通过提取特征点、线和表面，可以轻松捕捉注记高程值，从而为道路竣工测量提供精确的空间数据。

总之，三维激光扫描仪在室外测量中的应用需要综合考虑多种因素，包括基站选址、扫描路径规划、车辆行驶速度和位置控制等。通过合理的规划和精确的操作，可以最大限度地提高测量的准确性和效率，为道路竣工测量提供强有力的数据支持。

在点云采集时一般要注意以下要点：①采集过程中不宜与大车并行，行驶速度应满足点云密度要求，一般城市道路行驶速度不宜超过40 km/h，隧道、高架等区域行驶速度不宜超过60 km/h。②尽量避免车辆调头，如确因实际情况限制需要调头时，车辆应匀慢速转弯调头而不能通过倒车调头。③在数据采集过程中，经常留意平板手机上仪器界面中惯导、GNSS、激光数据采集记录情况，记录的数据量是否按采集时间正常增加。④完成数据采集后要注意关闭激光雷达

和全景相机，驶入停车场静止超过5 min，最后关闭惯导和整个设备系统。完成采集后设备关机拆卸和数据导出步骤按照仪器设备的使用说明进行即可。

2.2 全站仪外业数据采集

全站仪人工数据采集流程为在实施道路区域布设平面控制点和高程控制点，使用全站仪采集碎部点，进行1∶500数字化地形实测，同时根据设计图点位在实地采集道路中心线特征点、道路纵横断面及桥梁位置图等数据，另外使用水准仪对整个道路进行散点标高的测设，同时根据道路竣工要求在特定点位进行断面标高的测设。外业数据采集完后利用AUTOCAD软件进行人工识别，使用软件功能进行成图绘制。

在外业数据采集时需注意以下要点：①控制点布设应合理均匀，每间隔500 m布设一点。控制点位的布设是精度保证的措施。②由于全站仪架设站数较多，在作业中穿戴标志服遵守交通安全也是重要防范措施之一。③数据整理时需认真仔细，避免产生人为错误，导致返工，影响效率。

3 数据处理

3.1 车载全景激光移动测量数据预处理

将获取的车载扫描数据通过基准控制点在点云纠正软件中进行数据处理，获得激光点云与实景影像的绝对坐标。点云数据预处理主要包括基站数据转换、轨迹解算、点云数据解算等步骤[9-10]。外业获取的基站观测原始数据为.HCN格式，需要转换成通用的RINEX格式。利用CHCData软件，导入基站观测文件（.HCN文件），根据仪器型号和斜高量测数据设置天线高后，利用RINEX转换功能将基站观测原始数据转换为RINEX格式数据。具体操作过程详见CHCData软件使用手册。然后进行轨迹解算，包括以下步骤：①利用Inertial Explorer软件，使用Raw GNSS to GPB功能将基站观测处理得到的RINEX数据和移动站数据转换成GPB数据。②新建工程并保存到车次数据结构目录POST文件夹下，在工程向导中加载移动站（ROVER）GPB数据和惯导IMU数据。③加载基站（BASE）GPB数据。④利用Process TC进行基站与移动站数据紧耦合解算出车次POST文件。轨迹数据解算完成后二维显示见如图3。图中绿色轨迹线表示该处GNSS信号较强，紫色轨迹线表示该处GNSS信号较弱。

在三维激光扫描技术的应用中，点云数据解算是一个至关重要的环节，它直接影响到数据的准确性和可用性。这个过程涉及到将采集到的点云数据与地理坐标系统相匹配，以便进行进一步的分析和应用。① 新建工程：在Coprime软件中，新建工程是开始解算过程的第一步。选择需要解算的工程文件夹，这个文件夹包含了所有相关的点云数据和辅助文件，是解算工作的基础。②导入POST数据文件：POST数据文件包含了点云数据的空间位置和姿态信息，这对于将点云数据准确地放置在地理空间中至关重要。导入这些数据后，可以在软件中看到点云数据与实际地理位置的关系，为后续的解算提供基础。③设置项目信息：在项目信息栏中，需要输入相关的项目信息，如项目名称、地点等。这些信息有助于定义项目的地理和空间参考，确保解算结果与实际项目相匹配。④自定义点云解算中央子午线数值：在预处理阶段，需要根据项目的地理位置自定义点云解算的中央子午线数值。例如，上海地区一般设置为123°。这个设置对于确保点云数据在正确的经纬度上进行投影非常重要，直接影响到解算的准确性。⑤ 解算工程文件夹存放：解算工程文件夹一般存放在英文目录文件夹下，这是为了避免编码问题，确保软件能够正确识别和处理文件。⑥ 距离滤波值设置：距离滤波值的设置需要根据城市道路的宽度来确定，至少要能覆盖人行道两侧。一般道路可设置为50 m。这个设置有助于在解算过程中过滤掉距离过远或过近的点云数据，提高解算的准确性和效率。⑦保存设置并刷新工程：在完成所有必要的设置后，需要保存设置，并在软件中右键点击工程文件，选择刷新工程。这一步骤将确保所有的设置都被正确应用到工程中，为解算做好准备。⑧解算单个工程：最后，点击解算单个工程按钮，软件将开始进行点云数据的解算工作。在解算过程中，需要注意在PARA文件夹中存放激光扫描设备对应的EP文件（激光扫描仪参数配置文件）。这些文件包含了激光扫描仪的具体参数，对于点云数据的准确解算是必不可少的。

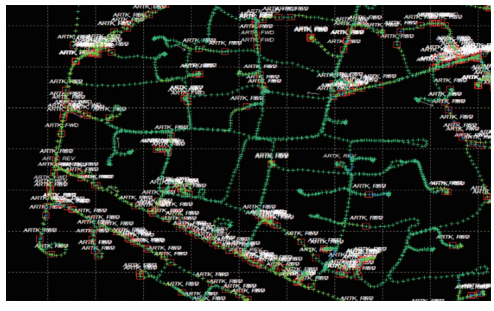


图3 轨迹解算结果示意图

3.2　基于点云数据提取地形信息

3.2.1　人工采集

点云数据进行地物人工采集提取的技术路线为：首先在点云数据场景中人工判断地物类型；进而在地物采集面板中选择地物类型，通过在点云场景中调整合适视角，人工进行地物特征矢量点、线、面的绘制并输入属性，即可实现地物特征矢量数据及属性信息的获取。

3.2.2　智能采集

在智能全息测绘软件中，可基于点云数据进行地物半自动化提取，首先在点云数据场景中，人工判断地物类型，进而在地物采集面板中选择地物类型，通过在三维激光点云数据场景中指定参考点，利用地物类型对应的智能提取算法进行地物特征矢量及属性信息的智能提取。智能全息测绘软件中，利用半自动化采集方法，通过人工参与在局部点云数据与矢量数据之间利用智能算法进行实时交互处理，可提高地物提取的效率与准确率。

4　基于精度与效率指标的测绘技术对比分析

4.1　基于精度指标的对比分析

精度是衡量道路竣工地形要素测设质量的评价标准，本文拟先从测设精度角度对比基于点云数据人工采集及智能采集2种技术在道路竣工地形要素的绝对精度和相对精度的区别，并以传统测绘技术测设结果为基准，定量判断基于点云数据智能提取技术的可靠性。本文选取道路竣工道路场景中的特征点位60个，其中道路边线检测点20个，道路上各种杆位点（路灯杆、红绿灯杆、电杆等）20个以及地面上井盖点位20个。分别采用基于点云数据人工提取地形要素和智能点云算法提取地形要素获取地形结果，并将两次提取结果分别与实际外业控制点进行精度比对。统计两次结果精度比对的中误差。在此次比较中，以外业控制点精度作为高精度比对点，所以采用的中误差计算公式为：

$$\delta=\sqrt{\frac{\sum\Delta\Delta}{n}} \tag{1}$$

经过比较20个点人工提取道路边线中误差为3.2 cm，而智能点云提取道路边线相对于控制点精度为3.9 cm。20个点的杆位点人工提取中误差为2.2 cm，智能点云提取中误差为1.7 cm。对于20个井盖点位，人工提取点位中误差为2.8 cm，而智能点云提取中误差为9.5 cm。从上述结果可以看出来，对于道路边线和杆位点，人工和软件提取精度基本上在同一量级，而对于井盖点软件提取效果相对于人工还是不足的。

4.2　基于效率指标的对比分析

效率是衡量智能软件相对于人工采集在速度上的标准。本文中，这种采集效率的差别通过人工和智能点云软件同时采集一段235 m的道路，每100 m统计效率来进行比较。比较发现：①对于城市主干道边线，人工提取时间6.38 min，智能提取时间6.02 min，智能提取优于人工提取；②对于杆状地物（路灯、红绿灯、路标、电杆等），人工提取时间8.08 min，智能提取时间7.66 min；智能提取优于人工提取；③对于行道树：人工提取时间5.96 min，智能提取时间3.4 min。智能提取优于人工提取。

5　结　语

本文探讨了基于点云智能化采集相对于人工采集的优势，经过验证，智能点云软件采集在精度上与人工采集基本持平，其中对于杆状地物和行道树能采集到中心点，而人工采集是很难做到这一点的，所以这类地物智能软件采集得到的精度优于人工采集。而对于井盖地物而言，智能点云软件提取偏差比人工采集要大一些。在效率方面，智能点云软件相对于人工采集已经具备一定优势。相信在不久的将来，随着智能软件的更新迭代，其采集的效率和精度将会全方位的超过人工采集。

参考文献

[1]　胡源. 车载三维激光扫描数据纠正与质量控制方法研究[J]. 测绘通报,2021(增刊):70-73

[2]　邓学锋,贾宝,苏春耀,等. 车载LiDAR系统在道路改建中的应用研究[J]. 地理空间信息,2019,17(1):16-19

[3]　熊仕稳. 基于车载激光扫描点云数据的城市道路面提取方法研究[J]. 城市勘测,2023(4):92-95

[4]　胡玉祥,张洪德,韩磊,等. 三维激光扫描技术应用于建筑物竣工测绘的探讨[J]. 测绘通报,2022(增刊):100-104

[5]　李振,邵达扬. 车载激光扫描系统定位误差与精度分析[J]. 扬州大学学报(自然科学版)2019,22(3):27-30

[6]　李旭. 三维激光扫描技术在地铁隧道竣工测量中的应用[J]. 测绘通报,2022(6):166-169

[7]　郜亚东,赵立峰,刘士彪,等. 三维激光扫描技术在房屋建筑“多测合一”中的应用[J]. 北京测绘,2023,37(3):371-376

[8]　田柳. 手持激光扫描仪测量精度评定方法研究[D]. 武汉:武汉大学,2020

[9]　张豪杰. 采东区高等级公路变形三维激光扫描监测方法研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2016

[10]　董啸,王竞雪,张成龙. 扫描线局部特征约束的车载LiDAR点云城市道路边界提取方法[J]. 地球信息科学学报,2023,25(8):1 546-1 558