引文格式：邹世锋,陶彣君,秦昌威,等. 基于FME的点云数据生成公路纵横断面解决方案[J]. 地理空间信息, 2023, 21(11): 94-97. doi:10. 3969/j. issn. 1672-4623.2023.11.022

基于FME的点云数据生成公路纵横断面解决方案

邹世锋[1]，陶彣君[1*]，秦昌威[1]，华　辉[1]
（1. 湖北省国土测绘院，湖北 武汉 430010）

摘　要：为解决传统公路纵横断面测量效率不高、精度较低的问题，提出了一种以LiDAR为外业数据采集手段，利用FME编写解决方案实现内业数据自动处理并完成纵横断面提取的方法，并在实际工程应用中进行了可行性验证。首先介绍了传统测量手段的不足和新技术的优势，再分析了纵横断面测量的相关要求，然后利用FME编写了一套从DWG设计线、桩号和左右宽数据、点云LAS数据中自动提取纵横断面数据的程序，最后分析了该方法在测量效率、精度、流程等方面的优势，为基于点云数据的公路纵横断面测量提供了有益参考。

关键词：点云数据；纵横断面；FME；抬杆法；相对中桩法
中图分类号：P258　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）11-0094-04

Solution of Point Cloud Data Generating Road Longitudinal and Cross Section Based on FME

ZOU Shifeng[1], TAO Wenjun[1], QIN Changwei[1], HUA Hui[1]
(1. Hubei Institute of Land Surveying and Mapping, Wuhan 430010, China)

Abstract: In order to solve the problem of low efficiency and low accuracy of traditional road longitudinal and cross section measurement, we proposed a method of taking LiDAR as field data acquisition method, using FME to compile a solution to automatic processing data and extract longitudinal and cross sections, and carried out feasibility verification in practical engineering applications. Firstly, we introduced the shortcomings of traditional measurement means and the advantages of new technology, and analyzed the relevant requirements of longitudinal and cross section measurement. Then, we used FME platform to compile a program that could automatically extract longitudinal and cross section data from DWG design line, pile number, left-right width data and point cloud LAS data. Finally, we analyzed the advantages of this method in terms of measurement efficiency, accuracy and process, which could provide a useful reference for road longitudinal and cross section measurement based on point cloud data.

Key words: point cloud data, longitudinal and cross section, FME, rod-lifting method, relative center-pile method

公路建设是我国经济社会发展的重要支撑。公路纵横断面图是公路设计中不可或缺的重要基础资料，能直观反映公路与地形地貌之间的关系，为工程量计算、施工和养护提供重要依据。传统的公路纵横断面测量主要依靠人工或接触式仪器设备，不仅效率低、精度差、成本高，而且还可能存在安全隐患或环境影响等问题，难以满足现代公路设计的要求[1-3]。

近年来，激光雷达（LiDAR）技术逐渐被应用于公路纵横断面测量中[4-7]。LiDAR技术利用激光束扫描地面目标，根据反射信号的时间差和强度差计算目标位置、形状和属性等信息，从而生成高密度、高精度、高可视化的三维点云数据，具有测量速度快、覆盖范围广、精度高、抗干扰能力强等特点，可有效解决传统方法在复杂地形条件下存在的测量难题，并在公路设计行业中得到了广泛应用[8-10]。

LiDAR点云数据通常以LAS格式存储，但国内大多数主流道路设计软件（纬地、EICAD等）能处理的数据多为文本文件或DWG格式[11]，因此这些软件基本上仅能进行高程点抽稀或DEM高程信息提取，很难高效读取大规模LAS格式点云数据，限制了LiDAR点云数据在公路设计中的应用。

为实现LAS点云数据与主流道路设计软件格式的兼容，本文基于FME平台开发了一款利用点云生成道路纵横断面的程序，不仅能将点云数据转换为传统道

收稿日期：2023-04-28。
第一作者简介：邹世锋（1978—），高级工程师，研究方向为工程测绘、测绘地理信息、不动产测绘、摄影测量、遥感等，E-mail：865913691@qq.com。
通信作者：陶彣君（1975—），正高职高级工程师，研究方向为测绘地理信息、地图制图，E-mail：463753175@qq.com。

路设计软件支持的纵横断面数据格式（文本或DWG），还可与纬地或EICAD等道路设计软件进行无缝衔接。通过这种方式，公路设计单位可直接利用点云数据进行道路设计，从而提高了设计效率和质量。

1　基于FME的点云数据生成算法

1.1　算法思路

不规则三角形格网（TIN）[12-13]能直观反映地表起伏形态，由一系列相邻且不重叠的三角形组成。在进行道路设计时，需顾及诸多道路纵横断面上的关键点[14-16]，这些关键点是TIN中三角形与公路纵横断面设计相交的点，其高程信息能反映公路横断面与地形表面之间的高差和坡度，为进一步的道路设计提供数据支撑。关键点可分为路基关键点、路面关键点和设施关键点3类，路基关键点主要包括路基中心线、路肩外缘、边沟外缘、边坡等与TIN的交点；路面关键点主要包括车行道外缘、分隔带外缘等与TIN的交点以及超高变化点等；设施关键点主要包括挡土墙顶部、护坡道顶部、截水沟底部、取土坑底部等与TIN的交点。

为绘制更贴合实地地形的纵横断面图，公路设计时采用LiDAR方式采集海量LAS格式的点云数据，读取点云数据生成TIN文件；再根据公路设计时提供的中心线和逐桩坐标数据计算得到每个桩坐标的法向量，该法向量将穿过多个TIN的三角形，这些交点即为最终的三维坐标数据。绘制横断面图时采用非等距离采样方法，即选取横断面线与TIN的所有相交点作为采样点，以最大限度地保证所绘制的断面线与实地贴合。因点云数据密度和精度很高，一般为毫米级，因此利用该方式采样的点位密度极高，能精确反映地面的起伏变化。

1.2　算法设计

基于算法思路，结合实际公路设计需求和FME平台的特性，算法的具体步骤为：①选取待设计公路的设计线数据、桩号和左右宽数据、符合精度要求的点云LAS数据作为输入数据源，可通过其他软件导出或手工录入的方式获取，利用设计线数据、桩号和左右宽数据生成每个横断面的横断面切线，用于后续横断面与TIN的相交计算，以求取交点数据作为横断面线的地面采样点数据，利用地面点云LAS数据生成地面的TIN文件；②根据横断面切线和TIN生成三维的横断面贴地线，即横断面采样点所连成的折线；③根据横断面贴地线生成沿线路前进方向的横断面图，主要用于数据质检和优化；④横断面图检测优化无误后，按照抬杆法和相对中桩法的格式要求生成对应的横断面CSV数据文件；⑤在专业的公路设计软件中，以生成的精确横断面数据为基础数据，完成相应的公路设计工作。

2　程序设计与实现

2.1　基础数据要求

要实现数据的批量处理，应采用符合规定格式要求的数据作为输入数据，经过程序自动处理，才能得到满足要求的成果数据。程序要求输入外业采集数据和设计数据，外业采集数据主要为点云数据，格式要求为LAS；设计数据包括设计线数据（dwg格式）、桩号和左右宽数据（Excel格式）两类。由于LAS为标准点云数据格式，本文仅对设计数据格式进行介绍。

1）设计线数据（dwg格式）。设计线为道路设计过程中的重要线，分为中心设计线（M）、左侧设计线（L）、右侧设计线（R）3类。根据道路要求的不同，可能存在个别边线缺失的情况。在设计线DWG图中，每组道路设计线均采用图层分层来组织，图层命名格式为“类型+起始里程”，如“L14000”表示该图层为左侧设计线，其起始里程为14000（图1）。

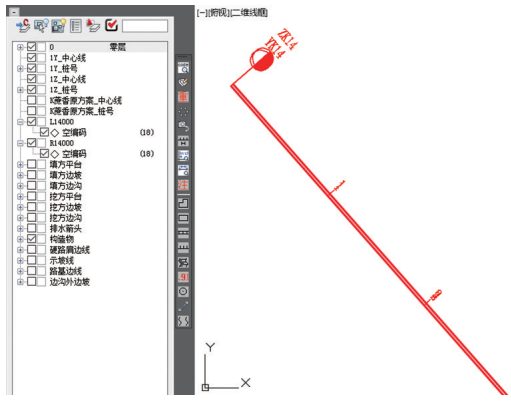


图1　设计线数据（dwg格式）示例

2）桩号和左右宽数据（Excel格式）。桩号和左右宽数据又称断面信息数据，采用Excel格式存储（图2），单位均为m，若为左侧设计线，则左宽为必填项，右宽为选填项，如不填写则右宽为该横断面线从左侧设计线延伸至右侧设计线的距离；若为右侧设计线，则右宽为必填项，左宽为选填项；若为中间设计线，则需填写完整的左宽和右宽。测量高程表示相应桩号的实测高程值，用于构建TIN。坐标东和坐标北只需在起点桩号处填写，用于判定设计线的起始方向。

2.2　程序实现

FME软件是一款空间数据转换处理系统，内置超

	A	B	C	D	E	F	G
1	设计线分组	桩号	左宽	右宽	测量高程	坐标东	坐标北
167	R14000	14000		100	482.5	476004.6086	2768788.035
168	R14000	14050		100	483		
169	R14000	14100		100	483.5		
170	R14000	14150		100	484		
171	R14000	14200	60	100	484.5		
172	R14000	14250	60	100	485		
173	R14000	14300	60	100	485.5		
174	R14000	14350	60	100	486		
175	R14000	14400	60	100	486.5		
176	R14000	14450	60	100	487		

图2 断面信息表（Excel格式）

过400个功能丰富的转换器[17]。利用其对多源数据格式的读写支持和处理功能，可读取点云数据LAS文件生成TIN，从设计线文件和逐桩表数据中提取横断面切线，再根据横断面切线和TIN生成三维横断面贴地线，并输出横断面CSV文件等。

本文利用FME 2022编写点云生成纵横断面的解决方案（图3），实现了点云数据公路断面的全自动提取。该程序利用FME的上百个转换器来实现数据筛选、处理、转换、输出等功能。解决方案界面见图4，Open区域为数据源参数，包括点云数据、设计线位图和断面桩号信息（断面信息数据）3项，用户通过文件浏览即可完成参数设置；Para区域为断面缓冲区参数，默认值为15 m，可根据点云数据密度和质量设置恰当的点云拾取距离；Save区域为成果输出参数，用于设置成果文件的保存文件夹。

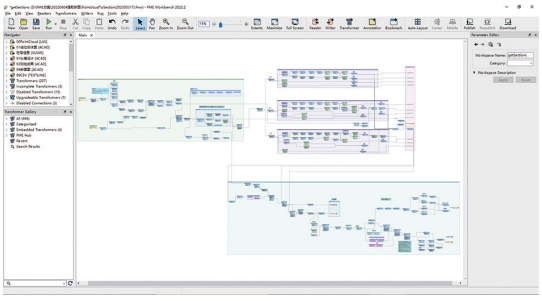


图3 FME编写的线路断面自动提取方案

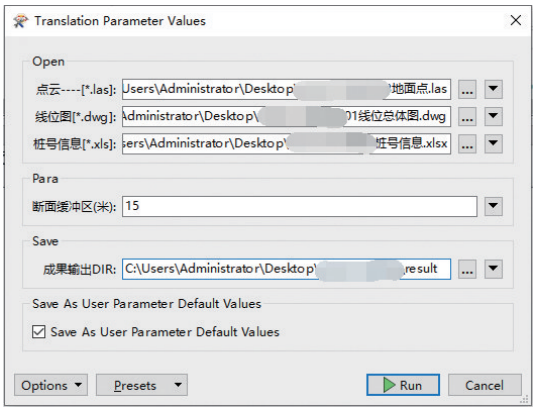


图4 线路断面自动提取方案运行界面

3 实验验证与分析

3.1 中间成果

设置好输入数据源，程序将自动提取满足点位密度要求的横断面数据点，包括横断面上所有特征点的高程和距离信息，并生成断面数据文件。根据设计线的方向或角度，可提取丰富的断面信息（图5）。为直观检查横断面生成数据的质量，按照设计线线位顺序和断面信息依次生成dwg格式的断面图，以图形化的方式展示断面变化（图6）。用户可在AutoCAD中直观查看不同线位处的断面形状和尺寸，并进行相应调整和优化。

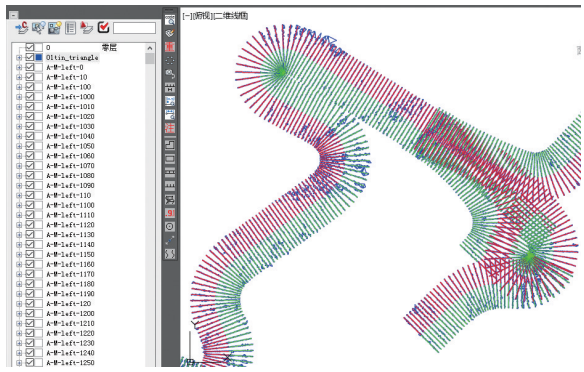


图5 断面信息提取界面

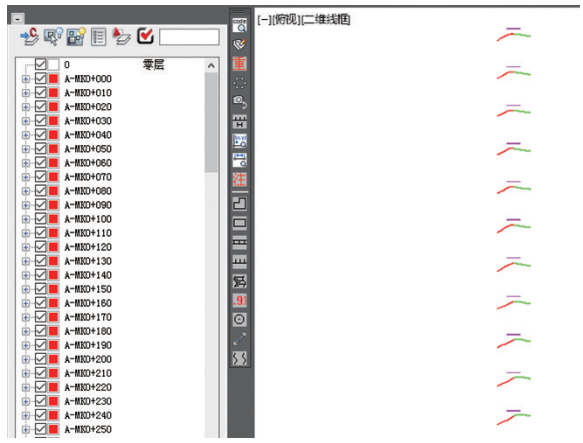


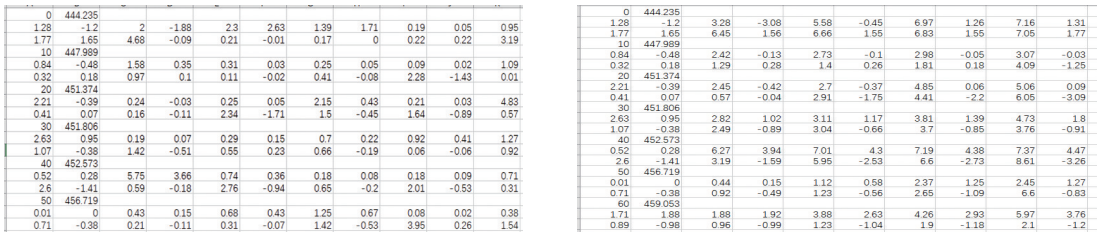
图6 断面图界面

3.2 横断面CSV格式成果

经中间成果检查和调整优化后，即可按照设计线、断面数据和点云数据生成满足要求的横断面CSV格式数据文件。抬杆法、相对中桩法横断面的CSV格式成果见图7，两种数据成果文件均按照道路设计软件所需的格式进行成果输出，数据格式保持一致，每个断面处均包括里程、高程、距离、高差等信息。

3.3 效率分析

方案可根据设计线数据、桩号和左右宽数据、点云数据生成两类成果数据：①dwg格式成果图，包含纵横断面设计、贴地线和断面图3种；②CSV格式数据文件，包含抬杆法和相对中桩法的横断面数据。上述数据文件均为标准数据格式，可供大部分公路设计单位直接使用。与传统纵横断面测量方法相比，本文



0	444.235										
1.28	-1.2	2	-1.88	2.3	2.63	1.39	1.71	0.19	0.05	0.95	
1.77	1.65	4.68	-0.09	0.21	-0.01	0.17	0	0.22	0.22	3.19	
10	447.989										
0.84	-0.48	1.58	0.35	0.31	0.03	0.25	0.05	0.09	0.02	1.09	
0.32	0.18	0.97	0.1	0.11	-0.02	0.41	-0.08	2.28	-1.43	0.01	
20	451.374										
2.21	-0.39	0.24	-0.03	0.25	0.05	2.15	0.43	0.21	0.03	4.83	
0.41	0.07	0.16	-0.11	2.34	-1.71	1.5	-0.45	1.64	-0.89	0.57	
30	451.806										
2.63	0.95	0.19	0.07	0.29	0.15	0.7	0.22	0.92	0.41	1.27	
1.07	-0.38	1.42	-0.51	0.55	0.23	0.66	-0.19	0.06	-0.06	0.92	
40	452.573										
0.52	0.28	5.75	3.66	0.74	0.36	0.18	0.08	0.18	0.09	0.71	
2.6	-1.41	0.59	-0.18	2.76	-0.94	0.65	-0.2	2.01	-0.53	0.31	
50	456.719										
0.01	0	0.43	0.15	0.68	0.43	1.25	0.67	0.08	0.02	0.38	
0.71	-0.38	0.21	-0.11	0.31	-0.07	1.42	-0.53	3.95	0.26	1.54	

a 抬杆法

0	444.235									
1.28	-1.2	3.28	-3.08	5.58	-0.45	6.97	1.26	7.16	1.31	
1.77	1.65	6.45	1.56	6.66	1.55	6.83	1.55	7.05	1.77	
10	447.989									
0.84	-0.48	2.42	-0.13	2.73	-0.1	2.98	-0.05	3.07	-0.03	
0.32	0.18	1.29	0.28	1.4	0.26	1.81	0.18	4.09	-1.25	
20	451.374									
2.21	-0.39	2.45	-0.42	2.7	-0.37	4.85	0.06	5.06	0.09	
0.41	0.07	0.57	-0.04	2.91	-1.75	4.41	-2.2	6.05	-3.09	
30	451.806									
2.63	0.95	2.82	1.02	3.11	1.17	3.81	1.39	4.73	1.8	
1.07	-0.38	2.49	-0.89	3.04	-0.66	3.7	-0.85	3.76	-0.91	
40	452.573									
0.52	0.28	6.27	3.94	7.01	4.3	7.19	4.38	7.37	4.47	
2.6	-1.41	3.19	-1.59	5.95	-2.53	6.6	-2.73	8.61	-3.26	
50	456.719									
0.01	0	0.44	0.15	1.12	0.58	2.37	1.25	2.45	1.27	
0.71	-0.38	0.92	-0.49	1.23	-0.56	2.65	-1.09	6.6	-0.83	
60	459.053									
1.71	1.88	1.88	1.92	3.88	2.63	4.26	2.93	5.97	3.76	
0.89	-0.98	0.96	-0.99	1.23	-1.04	1.9	-1.18	2.1	-1.2	

b 相对中桩法

图7　抬杆法、相对中桩法横断面CSV格式成果（部分）

借助自编程序采用点云数据生成的断面成果具有显著优势：①作业效率高，能节省大量人力和时间成本，以提取10 km断面数据为例，传统测量方法至少需花费4 h，而本程序只需不到2 h；②传统方法需要大量的人工干预和手工操作，错误率较高，而本程序人工干预很少，且几乎不存在错误；③本程序基于点云数据能生成点位密度更大、信息更丰富的断面图形，横断面线与TIN相交的所有点位均可作为断面点参与绘制断面图（图8）。

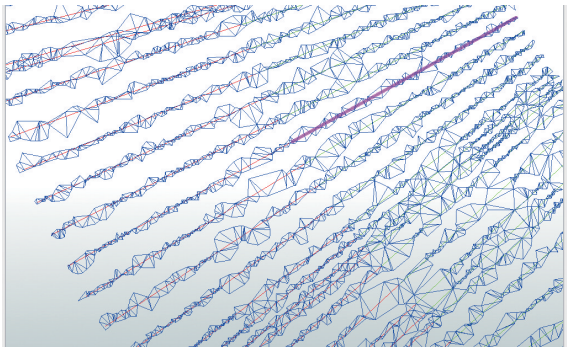


图8　TIN点位密度

4　结　语

为解决传统公路纵横断面测量方法存在的效率低、精度差、信息不够丰富等问题，本文基于FME平台编写了一款公路纵横断面自动提取程序。该程序以dwg格式的设计线、Excel格式的桩号和左右宽数据以及LAS格式的点云数据为数据源，按照设计线断面信息自动提取点云数据生成断面图，再经过人工质检和优化，最后按照抬杆法和相对中桩法的规则要求生成横断面CSV格式成果数据。本程序已应用于多条公路的设计中，实践证明其不仅能快速准确地获取公路路线纵横断面信息，而且成果数据还可在不同道路设计软件之间进行无缝衔接交互。本文通过实际生产项目验证了程序的正确性、有效性和优越性，也对基于点云数据的公路路线纵横断面测量进行了进一步探索，开拓了其使用范畴。今后还可在数据抽稀、成果类型丰富程度等方面进行深入研究。

参考文献

[1] 陆幼峰. 基于网络RTK技术实现道路纵横断面一体化[J]. 测绘与空间地理信息,2012,35(12):126-128

[2] 张鹏鹏,王世东. 基于全站仪的道路纵断面测量研究[J]. 地理空间信息,2020,18(8):76-78

[3] 吴勤伟,聂佳,贺小星. GPS-RTK在山区高速公路纵横断面测量中的应用[J]. 江西测绘,2019(1):3-5

[4] 琚宝林,郑亮,刘光祖,等. 地面三维激光扫描在公路大比例尺数字测图及断面测量中的应用[J]. 工程勘察,2022,50(1):45-49

[5] 贾军辉,杨涛,沈大勇,等. 基于城市点云数据的建筑屋面和外墙分类算法[J]. 地理空间信息,2022,20(9):67-71

[6] 王凯. 基于LiDAR点云数据的道路断面测量系统的关键技术研究[J]. 测绘与空间地理信息,2022,45(5):166-168

[7] 曹建军. 三维激光扫描技术在市政道路工程断面测量中的应用[J]. 测绘与空间地理信息,2020,43(4):108-109

[8] 董淑鹏,贺蔚. 机载LiDAR系统在公路断面测量中的应用与精度分析[J]. 测绘与空间地理信息,2014,37(9):170-172

[9] 李勇,尹泽成,江木春. 无人机LiDAR技术在山区公路断面测量中的应用探究[J]. 工程勘察,2021,49(7):50-54

[10] 刘怀彬,姜韶,阳清. 机载激光雷达在公路纵横断面测量中的应用[J]. 测绘,2019,42(4):184-187

[11] 曹炳勇,施新欣. 基于IFC 4.1标准的EICAD路线数据转换方法[J]. 清华大学学报(自然科学版),2022,62(2):321-330

[12] 王竞雪,张雪洋,洪绍轩,等. 结合形态学和TIN三角网的机载LiDAR点云滤波算法[J]. 测绘科学,2019,44(5):151-156

[13] 蒲朝旭,杨武年,林志鹏. 快速生成等值线的凹包算法[J]. 测绘科学,2019,44(9):13-18

[14] 常远,张胜. 无人机倾斜摄影在市政道路设计中的应用[J]. 北京测绘,2022,36(9):1 237-1 240

[15] 杜艺,葛帅,单萌蕾. 一种基于LiDAR点云的河道纵横断面获取方法[J]. 北京测绘,2020,34(8):1 114-1 118

[16] 安炯,张同刚,沈迅,等. 基于LiDAR点云的铁路隧道横断面提取[J]. 测绘与空间地理信息,2022,45(1):100-103

[17] 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