地矿测绘
Geological and Mineral Surveying and Mapping
第 8 卷◆第 4 期◆版本 1.0◆2025 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

基于倾斜摄影测量获取的点云 DEM 更新方法研究

贾婷婷
中煤航测遥感集团有限公司
DOI:10.12238/gmsm.v8i4.2209

[摘　要] 近年来,无人机航空摄影市场规模持续增长,单架次无人机可覆盖数平方公里区域,快速获取航拍影像,基于影像匹配生成DEM,无需逐点采集,适合大面积地形(如流域、矿区、农田)的高程建模。从航线规划到数据采集处理,智能化程度高,作业流程简单,周期短,实现了“人机分离”。AI算法不断优化,无人机具备强大的目标识别、路径规划和自主避障能力,边缘计算与实时数据处理能力提升,可自适应复杂环境。随着计算机视觉和摄影测量技术的发展,在一些地形不复杂的区域,影像匹配点云在精度和密度上能够媲美 LiDAR 点云。鉴于影像匹配点云所具巨大优势,如何对影像匹配的点云进行应用与研究显得尤为重要。
[关键词] 无人机；倾斜影像；密集匹配；DEM更新
中图分类号：V279+.2　**文献标识码**：A

Research on point cloud DEM update method based on tilt photogrammetry

Tingting Jia
Aerial Photogrammetry and Remote Sensing Group Co., Ltd.

[Abstract] In recent years, the drone aerial photography market has seen sustained growth. A single drone flight can cover several square kilometers, enabling rapid acquisition of aerial imagery. By generating Digital Elevation Models (DEMs)through image matching without point-by-point collection, this technology proves particularly suitable for large-scale terrain modeling in areas such as river basins, mining zones, and farmlands. From flight path planning to data processing, the system demonstrates high intelligence with streamlined workflows and short cycles, achieving "human-machine separation". With continuous AI algorithm optimization, drones now possess advanced capabilities in target recognition, path planning, and autonomous obstacle avoidance. Enhanced edge computing and real-time data processing capabilities allow them to adapt to complex environments. As computer vision technology advances, With the development of computer vision and photogrammetry technologies, image-matching point clouds can now match LiDAR point clouds in both accuracy and density in areas with relatively simple terrain. Given the significant advantages of image-matching point clouds, it has become particularly important to explore their practical applications and research.
[Key words] UAV, oblique imagery; dense matching, DEM update

引言

数字高程模型(DEM)是地理信息领域中最为重要的基础数据之一,常用于地形分析、洪水模拟、水文模拟等诸多应用领域。当前的DEM通常采用激光雷达测量和航空摄影测量等技术来获得,并且已经被广泛应用于现代地理信息系统(GIS)中,DEM的更新与精度提升对于地理信息应用具有至关重要的作用。随着新型测绘技术发展,点云生产DEM的作业方法逐渐被测绘行业所采用[1-3],其成果细节丰富、精度高、人工成本较低。对于需求数字高程模型要求最新航空影像的项目来说,使用倾斜影像密集匹配点云对DEM进行更新[4]是一种降低成本且有效保证DEM质量的方法[5]。

该方法主要利用影像匹配点云具有丰富的纹理和光谱信息,以及与历史DEM空间位置关系等特点,在Terrasolid下对倾斜影像密集匹配点云先进行自动分类,再结合影像通过目视进行人工编辑,最终得到高精度的DEM。

1 项目概况和数据情况

该项目位于邢台市。此区域西高东低,自西而东山地、丘陵、平原阶梯排列,以平原为主。该区域在2018年使用机载LiDAR点云生产了1:5000比例尺5米格网DEM成果,为了满足新的使用需求,需提供该区域现势性较强的1:2000比例尺2米DEM成果。该区

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

域整体地形变化不大,故整体生产新的DEM势必造成人力的浪费。新旧数据融合更新是经济性高、节省工期的优势方法[5]。

由于项目有倾斜摄影获取的影像模型,考虑到成本,将航飞得到的影像匹配密集点云作为DEM更新的源数据,而不是重新对整个区域获取机载LiDAR点云。点云前期数据处理主要运用Terra solid来进行滤波、分类,人工编辑运用的软件是西安煤航的LiDAR点云数据处理系统LiDAR DP。

2 整体技术路线

为了能够对影像匹配密集点云进行高精度的滤波和分类,在滤波开始前,充分分析点云的特点,运用历史数据与影像匹配密集点云之间关系,用算法进行滤波和噪点剔除,以达到最佳分类效果。

历史数据为5米格网DEM 成果,与现有数据是同一坐标系,所以无需进行坐标转换,将5米格网的历史数据通过选取特征点,进行平面高程的纠正,再进行新旧点云的融合,利用算法自动分类出地面点,对分类错误的点云进行人工干预,水系进行置平,河流探测点云值由高到低进行置平,点云稀少地区加特征线,保证地形的完整及精度,最后将制作的点云按要求生成DEM成果,整体技术路线如图1所示。

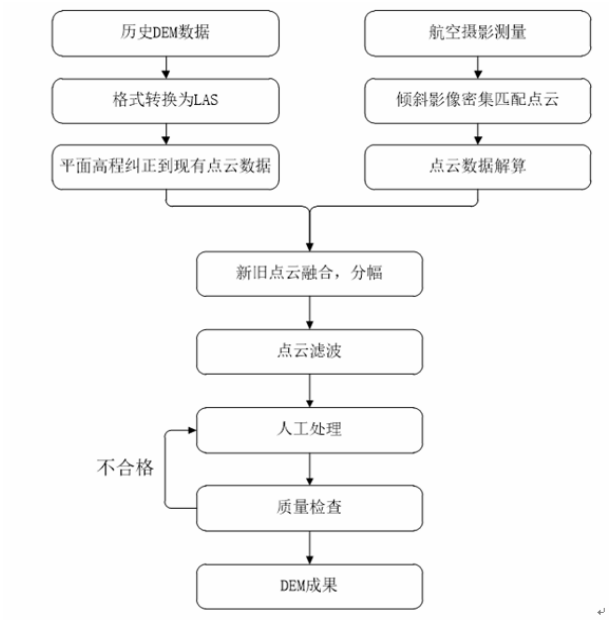


图1 整体技术路线图

3 点云数据处理

3.1坐标转换

3.1.1历史DEM数据坐标转换。5米格网数据在ARCGIS下利用灰度显示;影像匹配点云有数字正射影像,在地形未变化区域进行特征点选取,对历史数据进行平面和高程的纠正。

3.1.2影像匹配密集点云坐标转换。(1)平面坐标：本项目根据申请到的CORS站站点数据(实时提供CGCS2000坐标系控制成果和椭球高)进行联合解算,可直接获取点云成果的2000国家大地坐标系。(2)高程坐标转换：获取区域似大地水准面模型,利用精化模型将GNSS大地高转换为85高程。

3.2点云融合及分幅

将转换后的点云进行融合,即把新旧点云分为两个图层,根据数据处理情况,综合考虑软、硬件条件,对点云进行分块,以提高数据处理效率,优先使用设计中要求的图幅大小进行分幅。

3.3点云滤波

对融合后的新旧点云进行滤波处理,去除噪声点和离散点。在房屋密集、植被密集且地形无变化区域,可基于历史点云,利用高度进行去除,同时,进行精简,在保证地形特征的前提下降低数据量,提高后续处理效率。处理后倾斜影像密集匹配点云点密度为2.7点/㎡。

融合后的历史点云数据为12层,影像匹配点云为0层。考虑到影像匹配点云会有极高极低值,先以历史点云数据为基础,利用相对高度将0层内极值进行去除,再对0层进行地面点分类。由于影像匹配点云无回波信息,分类出的地面点会有部分房屋及植被点未去除,将历史点云作为地面点,通过相对高度分类到5层,调整参数再对5层数据进行二次地面点提取到4层,自动分类出的地面点为2层和4层,在此基础上做人工编辑分类。

3.4人工编辑

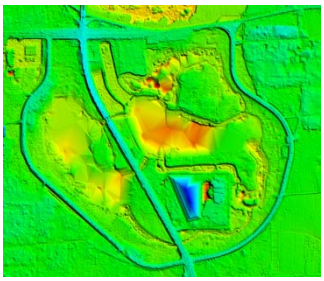
点云数据经过自动分类并检查合格以后,通过手动编辑点云数据,实现进一步的点云精确分类和编辑。对分类错误的点采用人工编辑的方式重新分类。人工编辑时,将航摄影像及等高线作为参考。对高程突变的区域,调整参数或算法,重新进行小面积的分类。

分类后的点云,主要对影像匹配点云的非地面点进行去除,如：房屋、植被、桥梁、涵洞等；对地形缺失地方进行断裂线补充,水系处理,新旧点云接边。

3.4.1非地面点处理。影像匹配密集点云无回波信息,房屋、植被大部分仍为地面点,而变化区域人工地表较多,基本无大面积植被覆盖,或植被生长稀疏,所以在未变化区域以历史点云为地面点,利用相对高度去除房屋、植被等点云。

3.4.2断裂线补充。在陡坎或地物、植被遮蔽严重等特殊地形处,由于地面数据缺失,损失地形细节,影响DEM精度,可利用同期数码影像及曲线,补测特征线等高程信息,保证地形细貌。

3.4.3水系处理。对流动水域以及河流、湖泊等面积较大的无数据水体区域,采集水涯线作为特征线。静止水域置平,流动水域应根据上下游水涯线高程由高到低进行赋值。如图2：



文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

图2 水系处理前后对比

3.4.4新旧点云接边处理。新旧点云接边处，因为植被遮挡、点云密度等的影响，会出现过度生硬的问题，影响DEM成果的美观，需要对接边过度生硬的地方进行平滑处理，去修复接边差。

表5-1 DEM高程精度检测统计表

检测方式：外业实测		精度检测类型：高精度检测	
地形类别：平地		单位：米	
点号	H1	H2	dh
1	23.87	24.13	0.25
2	23.76	24.13	0.37
3	29.02	29.41	0.39
4	29.23	29.63	0.40
5	26.70	27.12	0.42
6	27.42	26.98	0.44
7	26.90	27.34	0.43
8	26.72	27.20	0.48
9	29.27	28.82	0.45
10	23.63	24.10	0.46
11	29.08	29.55	0.47
12	26.48	26.93	0.45
13	25.25	24.90	0.35
14	23.91	24.36	0.46
15	24.67	24.97	0.30
16	24.24	24.60	0.37
17	25.38	25.72	0.34
18	23.59	24.24	0.55
19	28.88	29.25	0.37
…	…	…	…

3.5质量检查及成果输出

分类结束后，应对分类结果进行检查。通过将点云分类显示、高程显示等方法，目视检查分类后点云，对有疑问的地方进行进一步检查、分析，比如，可生成等高线检查是否有高程异常及高程精度检查。

利用分类后点云中地面点和特征线以及补测实测数据构TIN，按格网间距2米生成数字高程模型（DEM）。

4 数据成果精度验证

高程精度采用外业检查点对更新后的DEM进行精度评估。计算更新点云与实地测量检查点之间的误差，统计结果中误差为0.42米，最大误差为0.55米，标准中误差为0.7米，满足项目精度要求。

5 结论

本研究提出的基于倾斜影像密集匹配点云的DEM更新方法，通过合理的点云获取、预处理、配准和更新策略，实现了对DEM的高效、高精度更新。在未来的研究中，可以进一步优化密集匹配算法以提高点云质量，结合深度学习技术自动提取地形变化特征，拓展该方法在大区域地形监测与更新中的应用，为地理信息系统、城市规划、灾害监测等领域提供更准确、及时的地形数据支持。

[参考文献]

[1]王璁.基于机载LiDAR数据的DEM生产流程[J].测绘与空间地理信息,2020,43(10):204-207.

[2]李道.基于机载LiDAR技术的DEM快速更新关键技术研究[J].江西测绘,2019(4):20-23.

[3]谢瑜.基于机载激光雷达技术的DEM更新关键技术研究[J].经纬天地,2021(1):43-47.

[4]Siyu Wang,Zhikun Ren,Chuanyong Wu, et al. DEM Generation from Worldview-2 Stereo Imagery and Vertical Accuracy Assessment for Its Application in Active Tectonics[J].Geomorphology,2019,336.

[5]王月如,高林营,周智勇.基于倾斜影像密集匹配点云的数字高程模型更新方法研究[J].城市勘测,2022(1):87-90.

作者简介：

贾婷婷(1992--),女,汉族,山西省运城市万荣县人,本科,工程师,从事点云数据处理方面的研究。