

基于 Cesium 的露天矿山车辆管控系统开发

常文蝶^{1*}, 高培奇²

(1.河南测绘职业学院 遥感工程系,河南 郑州 450000;2.河南跃薪时代新能源科技有限公司,河南 郑州 450000)

摘要: 车辆运输是露天矿生产中的关键环节。传统的露天矿山车辆管控通常采用人工巡逻、对讲机通信以及固定摄像头监控等方式,存在实时性差、人工管理困难、行驶轨迹无法追溯等问题,难以满足当前矿山智慧化管理的要求。随着三维地理信息系统(Geographic Information System, GIS)与可视化技术的发展,将露天矿山与 3D GIS 结合能更好地展示矿山地貌结构等空间环境因素。文章基于三维可视化开源框架 Cesium 构建露天矿山车辆管控系统,对矿区进行三维实景建模,并将矿车的实时位置、状态及运动轨迹等信息直观地呈现在三维地图上,使矿区运营人员更好地跟踪和调度车辆,提高生产作业效率。

关键词: 露天矿山; GIS; Cesium; 车辆管控; 可视化

中图分类号: TD804

文献标志码: A

文章编号: 1672-9102(2025)02-0066-05

Development of Vehicle Control System in Open-Pit Mine Based on Cesium

CHANG Wendie¹, GAO Peiqi²

(1. Department of Remote Sensing Engineering, Henan College of Surveying and Mapping, Zhengzhou 450000, China;

2. Henan Yuexin Times New Energy Technology Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Vehicle transportation is a key link in open-pit mine production. Traditional vehicle control in open-pit mines usually adopts manual patrol, walkie-talkie communication, fixed camera monitoring and other methods, which has such problems as poor real-time performance, difficult manual management, and untraceable driving trajectory, which cannot meet the current mine intelligent management requirements. With the development of 3D GIS and visualization technology, the combination of open-pit mine and 3D GIS can better display the geomorphological structure and other spatial environmental factors of mine. In this paper, based on Cesium, an open source 3D visualization framework, a vehicle control system for open-pit mine is constructed to model the 3D scene of mining area. And the real-time position, status, trajectory and other information of the mine car are intuitively presented on the three-dimensional map, so that the mine operators can better track and schedule the vehicles, and improve the efficiency of production operations.

Keywords: open-pit mine; GIS; Cesium; vehicle control; visualization

对于露天矿山而言,车辆运输是生产过程中的关键环节,对整个矿山生产系统的运转和效率起着关键的支撑作用。高效的车辆监控管理系统有助于提升矿山的生产能力,降低运营成本,并确保工作人员的安全。传统的露天矿山车辆监控管理主要依赖基础技术和手段,如工作人员通过巡逻来检查矿区内的车辆活动,车辆的作业区域划分及调度指挥主要依赖对讲机、电话等通信工具进行信息传递。部分矿山可能设置固定摄像头覆盖关键区域,并通过监控系统来实时查看摄像头的画面,然而这种方式存在监控死角和盲

区,且无法满足车辆在矿区广泛移动时的监控需求.随着地理信息系统(Geographic Information System, GIS)和可视化技术的发展,WebGIS在矿山行业的应用日益广泛.然而,其总体应用进程相对缓慢,大多仍以二维电子地图为基础进行开发.在露天矿开采过程中,会形成较为复杂的人工地貌,地理空间关系十分复杂,基于二维地图开发的系统已经不能满足矿山的空间信息表达需求^[1].此外,随着开采活动的推进,地形地貌会发生显著变化.二维地图缺乏对空间高程信息的表达,可能引发多种安全隐患.Cesium是一个开源的三维地理信息开发框架,以地球椭球体为数学模型,采用H5、WebGL等技术,实现跨平台、跨终端浏览^[2],从而创建丰富的地理信息可视化应用.基于Cesium的露天矿山车辆管控系统可以直观地在三维实景地图上展示车辆的位置、状态和运行轨迹,使运营管理人员能够迅速反应并做出决策,优化车辆的调度,减少车辆排队时间,提高资源的利用及生产运营效率.

1 技术路线

首先,通过无人机对整个矿区进行全方位、多角度的倾斜摄影测量,并对获取的影像数据进行处理,生成Cesium框架需要的3D Tiles格式的三维模型数据.车辆的经度、纬度、高度、航向及状态信息等数据通过车载平板实时推送至系统.最后,通过Cesium API搭建三维场景,对矿区三维模型和车辆模型数据进行加载并实时动态展示,整体技术路线如图1所示.

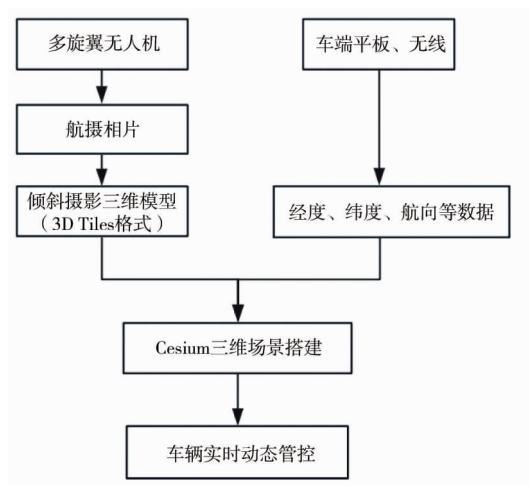


图1 技术路线

2 设计与实现

2.1 矿区倾斜摄影三维建模

无人机倾斜摄影技术通过搭载多台传感器,运用多角度相机同步获取地面物体各个角度的高分辨率航摄影像,并配合先进的定位、融合及三维模型处理等技术,自动生成高精度数字正射影像、数字高程模型和实景三维模型^[3].倾斜摄影弥补了卫星遥感影像只反映平面信息的不足,能更生动、直观地展示矿山的开发利用现状^[4].本文采用大疆精灵 PHANTOM 4 无人机,一款小型的面向低空摄影测量应用的多旋翼高精度航测无人机,其具备厘米级导航定位和高性能成像系统^[5].通过在办公楼楼顶或空旷区域部署无人机,手动划定采集范围后,无人机可自动完成数据采集并上传至系统.

航摄相片采集后,需对其数据进行处理转化为三维模型,处理过程主要包括预处理和空三加密.预处理包括图像质量控制、几何校正、图像配准、色彩校正等步骤,旨在提升无人机航摄图像的质量、准确性和适用性.空三加密是通过对多个航摄图像进行空间定位和匹配,建立航摄图像与地理坐标之间的准确关联.

本文采用大疆制图对航摄相片进行空三计算及三维重建,通过软件配置像控点、坐标系等参数,输出文件类型选择符合3D Tiles(Cesium API支持)规范的B3DM数据格式.矿区三维建模结果如图2所示.

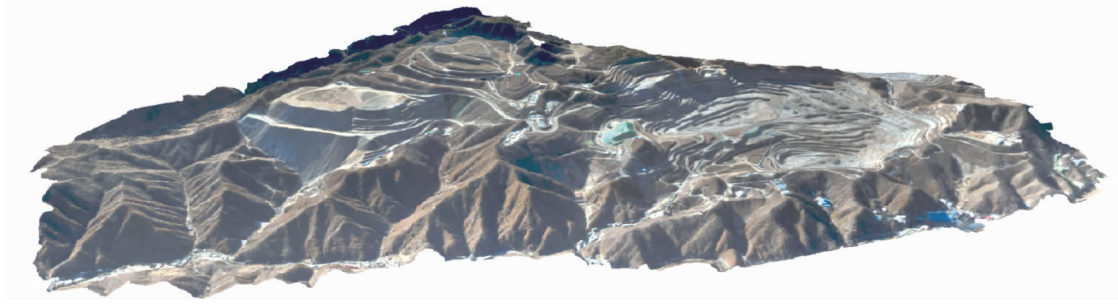


图2 矿区三维建模

2.2 车端定位姿态数据采集与传输

在矿区车辆驾驶室安装固定平板,并将外置 GPS 天线安装在车辆外驾驶舱顶部,通过 GPS 获取车辆的经度、纬度、高度等位置数据.结合天线位置和车辆的长宽高数据,采用算法将定位数据移至车辆中心位置,确保车辆模型在地图中的定位更精确.同时,车辆的航向、旋转、倾斜等姿态信息通过平板内置的陀螺仪和加速度计等传感器获取.

平板上安装调度系统程序,通过该程序实时查询平板内置的传感器数据,将获取的定位和姿态数据通过 HTTP 协议和网络传输至云端车辆管控系统.云端接收数据后,对数据进行解析、验证和存储,并将解析后的数据推送给前端页面,从而实现车辆在三维地图上的定位和展示.

2.3 三维场景搭建

Cesium 是一款基于 WebGL 的开源、轻量级 3D GIS 引擎,使用 JavaScript 编写,具有成本低、开发简单、支持多种地图格式等特性^[6].针对露天矿山车辆管控系统的实现,需要使用 Cesium 加载 4 种类型的数据:影像底图数据、矿区道路及作业区等矢量数据、矿区三维模型数据、车辆模型数据.

WebGIS 常用的影像底图在线服务包括 ArcGIS Online 影像、天地图、高德底图、谷歌在线地图等,因无人机航摄相片 POS 数据及平板传输的定位数据使用 WGS84 坐标系,同时考虑在线影像服务的稳定性和访问频次限制,本文选择 ArcGIS Online 影像服务作为系统的基础底图.Cesium 使用 ArcGIS Map Server Imagery Provider 类来加载 ArcGIS Server Map Service 提供的影像服务,同时 Cesium 也支持多种影像格式 (PNG, TIFF 等),用于在三维地球表面展示卫星影像.

Cesium 支持 GeoJSON, TopoJSON, KML 等格式的矢量数据加载.矿区装载区、卸载区、道路等基础数据可在矿区高分辨率影像的基础上进行数字化采集,然后通过 Cesium 的 Entity 类对这些点、线、面等基础地理要素进行加载渲染,方便用户直观地在三维地图上定位相关车辆的任务作业区域.

3D Tiles 是一种开放标准,用于高效管理和传输大规模三维地理空间数据.它将三维模型数据分割为独立的瓦片(Tile),每个 Tile 包含特定区域的三维模型、纹理或其他地理空间要素属性信息.本文所选矿区面积为 2.5 km²,三维模型瓦片数量较多.Cesium 采用决策树和层次细节技术(Level of Detail, LOD)管理模型瓦片,根据相机视点高度动态加载和卸载瓦片,以保持最佳性能和渲染质量.1 个 Tileset 就是一系列空间数据结构(树)组织下的一组瓦片,Cesium 以“树”的方式组织加载三维模型,每个三维模型对应一个父瓦片边界包围体,该包围体又可切分为小边界包围体,用以实现对象的选取和变换操作^[7-8].处理好的三维模型瓦片数据部署在服务器端,Cesium 使用 Cesium 3D Tileset 类对矿区三维模型进行加载,基于 HTTP 协议发起网络请求获取瓦片的数据,使用着色器(shader)等技术对瓦片进行动态加载和渲染,包括纹理、光照及其他视觉效果.车辆的加载及定位、姿态展示是系统研发的关键.Cesium 支持.gltf、.glb 和 3D Tiles 模型数据格式的加载,其中 3D Tiles 适用于展示大区域面积的建筑模型,而.gltf 和.glb 适用于展示单个独立模型.车辆模型可以在网上下载或通过 3D MAX、Blender 等软件进行定制化建模.Cesium 使用 Entity 类对 model 数据进行加载,通过配置模型的 URI 路径地址、minimumPixelSize 等属性来设置车辆模型的最小可见像素.为了在三维场景中模拟真实矿用卡车的状态,需要配置模型的 longitude, latitude, altitude 等定位数据和航向角、俯仰角和翻滚角等姿态数据,通过 Entity 的 position 和 orientation 属性可将矿用卡车真实模拟加载到三维地图中.

2.4 车辆轨迹数据存储

矿区需要对上百辆矿车进行位置显示及轨迹回放, GPS 的广泛应用会产生海量的车辆定位数据. 车辆通过平板的 GPS 来收集轨迹点数据并实时上传到云端系统, 轨迹数据包括时间戳、车辆编码、经度、纬度、高程、航向、速度等信息. Elasticsearch 是一个具有高可用性、易扩展特性的分布式数据库, 能够实现海量数据的存储及近实时查询. 采用 Elasticsearch 对数据进行组织, 解决了海量定位数据存储和查询缓慢的问题, 可以有效提升系统吞吐量和响应速度^[9]. Elasticsearch 强大的实时搜索和分布式能力能够满足处理大规模实时轨迹数据的需求. 本文利用 Elasticsearch 存储和索引车辆轨迹数据, 数据按照时间序列进行索引, 每辆车的数据作为单独文档, 通过时间范围、车辆编码等条件进行查询, 并将结果进行可视化展示或回放.

3 露天矿山车辆管控系统

露天矿山车辆管控系统可以实时在地图上展示矿区车辆的在线情况、工作状态及产能情况. 通过该系统对矿区车辆进行任务分配与管理, 实现露天矿生产过程中车辆的优化调度和实时监控, 从而提高设备的运行效率.

3.1 车辆实时监控

前端地图页面通过 WebSocket 建立与后台矿用卡车车辆的实时数据通道, 通过订阅主题及监听消息事件获取每一辆车的定位和姿态数据, 地图页面根据车辆编码对车辆的位置和姿态进行实时更新. 车辆详情实时展示车辆的名称、装车挖机、装车爆堆、卸载地点、工作状态、经度、纬度、高程、卫星状态、速度等信息. 运营人员可通过系统对车辆下发作业任务, 指定作业区域、卸载区域、是否过磅等信息, 平板端的地图可实时显示当前任务的作业路径, 并语音播报当前任务的状态(待调度、调度中、待装车、装车中、载重行进、卸载中).

车辆实时监控页面图(图3)左侧展示车辆的实时在线情况, 包括矿用卡车、钻机车、辅助车的在线数量和离线数量; 页面右侧展示矿区车辆的实时运载量、运载次数统计、能源消耗等信息, 同时对矿区每日的产能数据进行统计.

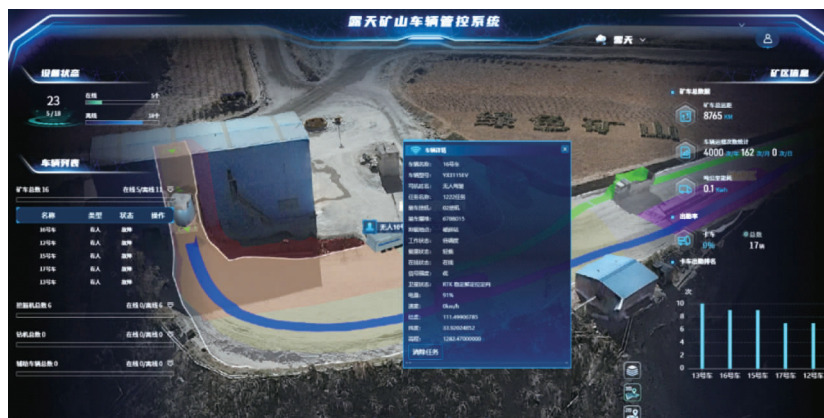


图3 车辆实时监控

3.2 车辆轨迹回放

矿用卡车每 2 s 上传 1 条定位数据, 单辆矿用卡车单班工作下每天的轨迹数据量有 2 万条左右, 数据量庞大. 通过 Elasticsearch 对时间序列进行索引, 将每辆车的轨迹数据存储为 1 个文档, 文档中包含车辆编码、时间戳、位置信息、任务名称、工作状态、速度等信息. 矿区运营人员可根据车辆 ID、起始时间范围对车辆轨迹数据进行检索和查询, 并在三维地图中进行展示和回放.

车辆轨迹回放数据可以根据时间范围进行查询, 也可根据车辆的工作明细进行查询. 轨迹回放过程中, 右侧面板可实时展示车辆在每一时刻的状态、调度任务、定位等信息, 地图上车辆根据回放时刻的具体位置进行平滑移动, 方便管理员对问题车辆进行追溯. 车辆轨迹回放功能如图 4 所示.



图 4 车辆轨迹回放

4 结论

在矿山运营中,大量的车辆涉及物料、人员的运输,而这些车辆如果缺乏有效的管控就容易引发事故和安全隐患,基于 Cesium 的露天矿山车辆管控系统通过融合三维可视化、实时定位与物联网技术,为矿山生产管理提供高效、直观的解决方案.本文围绕系统设计、关键技术实现及在某露天矿区的实际应用展开研究,验证了 Cesium 在露天矿山复杂环境下的技术优势与实践价值,同时表明该系统对露天矿的安全生产、效率提升具有重要意义,运营管理人员通过系统可在矿区三维模型上实时查看车辆的位置、任务作业信息,并可对车辆的历史运行轨迹进行查看,极大地提高了矿山运营的效率 and 安全性,同时能够更好地了解矿山的开采进度及运行状况,及时做出决策,提高整体管理水平.

参考文献:

- [1] 薛鹏展.基于 WebGIS 抚顺西露天矿多源信息集成及可视化系统研究[D].沈阳:东北大学,2020.
- [2] 刘强.基于 Cesium 技术的露天矿山三维可视化数据平台研究[J].内蒙古煤炭经济,2021(20):31-33.
- [3] 张维生.无人机倾斜摄影技术在露天矿山监管中的应用[J].城市勘测,2022(6):146-150.
- [4] 谢洪斌,杨雪,张亚,等.无人机倾斜摄影在露天矿山监管中的应用[J].露天采矿技术,2019,34(4):50-54.
- [5] 闫勇,李彪,杨化超,等.基于 Cesium 框架的智慧矿山三维可视化应用平台搭建[J].矿山测量,2020,48(6):106-109.
- [6] 朱翔逸,苗放.基于 Cesium 的三维 WebGIS 研究及开发[J].科技创新导报,2015,12(34):9-11.
- [7] 王占军,王鹏,吕婧,等.浅析基于 3D Tiles 的 BIM 模型网络共享方案[J].科学技术创新,2020(8):91-93.
- [8] 蔡周平.基于 Cesium 的三维智慧社区开发[J].北京测绘,2020,34(2):190-193.
- [9] 冀琳.基于 Elasticsearch 的车辆管理系统设计与实现[J].中国安全防范技术与应用,2023(2):60-64.