引文格式：黄建莹, 王流火, 曾深明,等. LiDAR点云赋能的智慧工地动态管理方法与实践[J]. 地理空间信息, 2023, 21(5): 80-83. doi:10.3969/j.issn. 1672-4623.2023.05.019

LiDAR 点云赋能的智慧工地动态管理方法与实践

黄建莹[1]，王流火[1]，曾深明[1]，陈绍勇[2]，陈建泉[2]
（1. 广东电网有限责任公司，广东 广州 510620；2. 广东电网有限责任公司云浮供电局，广东 云浮 527300）

摘　要：立足大范围架空输电线路施工现场管控需求，从安全管控、进度管控、施工质量管控、综合管理4个角度，利用物联网、无人机、智能分析、激光点云、地理空间信息等技术多维度开展智慧工地专题研究。基于获取的机载LiDAR点云，利用改进的体素化方法，通过配准后多期点云Bounding Box中的体素索引对多期LiDAR点云进行变化检测，动态智能管控电力工地的施工进度与安全，并对各技术模块进行集成。基于LiDAR点云搭建电力工地的三维可视化管理服务平台，可实现智能化、互联网化管理，实现输电线路建设领域创新驱动发展和绿色电网建设，将电网基建建设推到一个更高的台阶。

关键词：智慧工地；LiDAR点云；变化检测；体素化；进度管控
中图分类号：P231　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2023）05-0080-04

Dynamic Management Method of Smart Construction Site Empowered by LiDAR Point Cloud and Its Application

HUANG Jianying[1], WANG Liuhuo[1], ZENG Shenming[1], CHEN Shaoyong[2], CHEN Jianquan[2]
(1. Guangdong Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510620, China;
2. Yunfu Power Supply Bureau of Guangdong Power Grid Co., Ltd., Yunfu 527300, China)

Abstract: Based on the construction site management and control needs of large-scale overhead transmission lines, we used the Internet of Things, UAV, intelligent analysis, LiDAR point cloud technology and geospatial information to carry out multi-dimensional technical research on smart construction sites, from the four perspectives of safety control, progress control, construction quality control and comprehensive management. Based on the acquired airborne LiDAR point cloud, using an improved voxelization method, we detected the changes of multi-period LiDAR point clouds by voxel index of Bounding Box after registration, dynamically and intelligently controlled the construction progress and safety of the power site, and integrated various technical modules. Building a 3D visual management service platform for power construction site based on LiDAR point cloud, can realize intelligent and Internet-based management, realize innovation-driven development in the field of transmission line construction and the construction of green power grids, and push power grid infrastructure construction to a higher level.

Key words: smart construction site, LiDAR point cloud, change detection, voxelization, progress control

智慧工地是智慧城市在建筑施工场景的具体应用，是施工资源在信息系统加载中的大数据分析运算[1]，是企业对工地现场的现代化、信息化、集成化管理手段，是一种崭新的工程全生命周期管理理念[2]。它是以互联网为基础的信息化管理平台，利用信息技术实现工地工程事项、工地管理等方面的智能决策、信息共享、智能生产、现场与设备的安全监控、多方互联协同等功能[3]。由于电力施工现场情况复杂、安全因素众多，不规范的施工造作易导致安全隐患的发生[4]。另外，随着物联网、激光点云、地理空间信息等技术的快速发展[5-7]，依靠现代信息技术提高工地管理水平、有效预防安全事故发生、实现输电线路建设领域创新驱动发展和绿色电网建设已成为可能[8-9]。

本文立足于大范围架空输电线路施工现场管控需求，采用无人机数据采集、云技术、LiDAR、AI人工智能、航空摄影测量、物联网、大数据分析、大场景三维可视化等技术，对多期LiDAR点云数据进行变化检测，并搭建了智慧工地三维可视化管理平台，实现了二三维显示以及多期数据的对比分析，变被动式管理为主动式智能化管理，有效提高了电力施工现场的管理水平和效率。

1　智慧工地管理平台架构

智慧工地管理平台的总体架构包括设备采集层、

收稿日期：2021-12-14；修回日期：2022-03-18。
项目来源：广东省科学技术厅科研资助项目（2017B010117008）；广东电网有限责任公司科研资助项目（030000WX24190001）。
第一作者简介：黄建莹（1982—），硕士研究生，高级工程师，主要从事输变电工程基建管理和基建新技术研究，E-mail：caizhenhua_csggd@163.com。

数据感知层、平台应用层和系统呈现层（图1）。平台主要从安全管控、进度管控、质量管控、综合管理4个方面对施工过程进行动态管控[10]。安全管控方面包括基于AI的安全帽穿戴情况智能识别、基于VR技术模拟施工过程中的安全事故和监测人员实时分布[11]。对于电力工地施工现场，可通过移动互联网、悬吊式超载报警装置、激光LiDAR、三维GIS、无人机系统等新技术手段开展智慧工地安全管控。在进度管控方面，基于无人机绕塔飞行的影像生成激光点云，自动计算线路建设工程的进度信息，设计每周一次的采集频率，将实际施工进度与模拟进度进行对比，快速管控施工进度[12-13]。质量管控方面包括基于无人机的铁塔安装质量检查、地面激光雷达杆塔预偏值检测、地面激光雷达软跳线安装质量快速检查、导线牵引过程可视化等，将多手段创新性地应用于架空线路工程建设质量智能监控中[14-15]。架空路线施工过程的多时空三维智慧工地大数据可视化管理服务，利用云平台大数据，融合多源工地大数据，辅助进行智能化工地现场管理，避免形成信息孤岛，通过综合管理实现工地现场的现代化、信息化、集成化管理[16]。

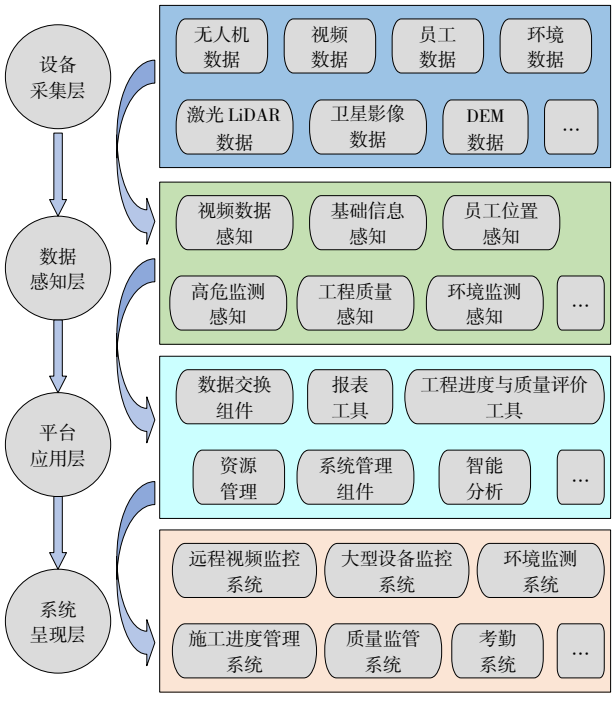


图1　智慧工地管理平台架构

2　技术分析

对于电力施工工地，需在进度管控中对多期LiDAR点云数据进行变化检测，本文采用一种基于体素索引的方法进行变化检测，对传统的基于Octree或KD-tree的变化检测过程中的体素化进行了改进。首先对两期点云采用相同的Bounding Box和体素分辨率进行体素化，再采用对体素定义变化标签的形式进行变化检测，大大提高了算法的效率与准确性。

2.1　体素化

本文首先对两期点云数据进行配准，再对配准后的点云数据进行合并，并计算合并后点云的Bounding Box（以下简称bbx）。利用式（1）、（2）计算点云数据单个体素的体素分辨率，即利用bbx的体积和点云数量求得点云数据各点之间的平均欧氏距离（体素大小）。

$$\Delta x = X_{\max} - X_{\min} \quad \Delta y = Y_{\max} - Y_{\min} \quad \Delta z = Z_{\max} - Z_{\min} \tag{1}$$

$$\text{resolution} = (\Delta x \times \Delta y \times \Delta z)/N \tag{2}$$

式中，$X_{\max}$、$Y_{\max}$、$Z_{\max}$和$X_{\min}$、$Y_{\min}$、$Z_{\min}$分别为bbx中坐标值最大和最小的两个对角点坐标；Δx、Δy、Δz分别为bbx中坐标值最大和最小两个点分别在X、Y、Z方向上的距离；resolution为点云数据单个体素的体素分辨率，所有体素的体素分辨率相同；N为两期点云合并后点云数据中点的个数。

根据bbx的两个对角点以及第一期点云数据的体素分辨率，通过式（3）、（4）可计算得到bbx中包含的体素个数，并给所有体素赋初始值为0。

$$x_{_size} = [\Delta x/\text{resolution}] \quad y_{_size} = [\Delta y/\text{resolution}]$$

$$z_{_size} = [\Delta z/\text{resolution}] \tag{3}$$

$$\text{bbx}_{_size} = x_{_size} \times y_{_size} \times z_{_size} \tag{4}$$

式中，$x_{_size}$、$y_{_size}$、$z_{_size}$分别为bbx中X、Y、Z方向的体素个数；$\text{bbx}_{_size}$为bbx中的体素数量。

由此点云数据被划分为$\text{bbx}_{_size}$个大小为resolution的体素，由于体素是由两期点云数据配准合并后计算得到的，因此包含两期点云数据所有的点，两期点云的体素数量均为$\text{bbx}_{_size}$个。然后，将两期点云数据分别与$\text{bbx}_{_size}$个体素进行遍历计算，利用式（5）、（6）计算各点在bbx中对应的体素索引，并将索引指向的体素赋值为1。通过上述处理能获得两期点云数据对应的bbx，且两期bbx中体素个数相同。

$$\begin{cases} x_{_index} = [(x_{\max} - x_{\min})/\text{resolution}] \\ y_{_index} = [(y_{\max} - y_{\min})/\text{resolution}] \\ z_{_index} = [(z_{\max} - z_{\min})/\text{resolution}] \end{cases} \tag{5}$$

$$\text{voxel}_{_index} = z_{_index} \times x_{_size} \times y_{_size} + y_{_index} \times x_{_size} + x_{_index} \tag{6}$$

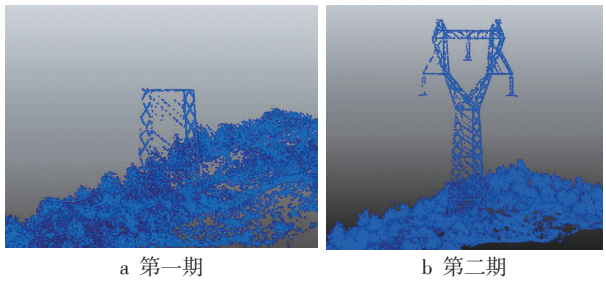
式中，$x_{_index}$、$y_{_index}$、$z_{_index}$分别为点云在bbx中对应体素的位置；$\text{voxel}_{_index}$为点云在bbx中对应体素的索引。

2.2 变化检测

本文将bbx中包含点云的体素标记为1，不包含点云的体素标记为0，将两期数据中点云的变化情况映射到体素，则可分为3种类型，即未变化（0-0、1-1）、增加（0-1）和减少（1-0）。此时，定义一个新的bbx命名为bbx_label，将两期点云bbx中对应体素的变化情况按上述变化类型在bbx_label中对应体素上进行标记；然后判断两期点云的变化情况，若第二期点云数量比第一期点云少，则遍历第一期点云数据，采用式（5）、式（6）计算每个点云在bbx_label中对应体素的变化情况，并输出标签为“减少”体素所包含的点云；若第二期点云数量比第一期点云多，则遍历第二期点云数据，采用式（5）、（6）计算每个点云在bbx_label中对应体素的变化情况，输出标签为“增加”体素所包含的点云。

3 实验验证

为了验证点云变化检测算法的有效性，本文采集了某电力工地不同时段的LiDAR数据，这两组数据显示了不同时期电力工地的进度状况。点云数据量存在一定的差异，可通过变化检测算法对两期点云数据进行处理，提取变化部分，验证算法的有效性。第一期数据为工地建设时的点云数据（图2a），电塔仍在建设中；第二期数据为电塔建设完成后的点云数据（图2b）。



a 第一期　　b 第二期

图2 两期实验点云数据

首先采用相同的bbx和体素分辨率对采集的LiDAR点云数据进行体素化，然后采用对体素定义变化标签的形式进行变化检测，得出变化的点云数据。经统计，第一期点云数量为34 243个，第二期点云数量为40 121个，增加的点云数量为5 878个，增加的点云数量比第一期点云数量少很多，主要是由于第一期点云中含有大量的地面数据，地面点云的密度较大、数量较多；第二期数据采集时间与第一期数据间隔较短，地面主要特征变化不明显，因此算法检测到的变化部分主要为电塔施工新建部分。从点云变化数量来看，两期的数据量差距不大，但从输出变化点云的可视化结果来看，变化检测实验结果较合理，改进后的变化检测算法能有效提取点云变化部分，包括第一期数据中电塔未完成建设的上半部分以及电力线（图3）。

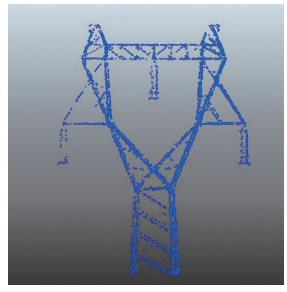


图3 变化检测提取的点云数据

4 案例分析

该案例为广东省某架空输电线路施工项目，应用基于三维地理信息的工地三维可视化管理服务平台，融合卫星影像、无人机影像、杆塔线路三维模型与激光点云等多源数据，真实还原了基于时序的大范围架空线路的建设历程。在智慧工地管理平台中实现了各标段施工进度汇总与统计、安全帽佩戴情况智能分析与统计、导线牵引过程实时监控与回顾、杆塔安装质量缺陷分析与统计、软跳线安装质量分析、耐张塔预偏值分析、塔基迅速复绿过程记录等功能；实现了各安全设备间的信息层互通，提高了系统整体的运作效率，减少了安全事件的发现和响应时间。部分功能界面如图4、5所示。开展基于无人机绕塔飞行影像生成LiDAR点云、并自动化计算线路建设进度信息的技术研究与应用，采集频率为每周一次，实现对施工现场进度情况的快速记录和反馈，进行施工偏差模拟，在多地同时施工的情况下，可通过各地进度进行有效快速的全局进度管控。

该平台实现了施工进度的管理科学化、架空线路现场管理的智能化与数字化、工程建设过程“监、

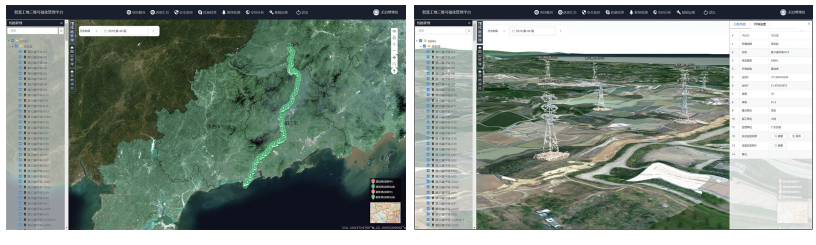


图4 智慧工地管理平台信息查询界面

控、管”业务流程一体化以及高效全局化，打通了从一线操作与远程监管的数据链条，实现了劳务、安全、环境、材料各业务环节的智能化、互联网化管理，促进了工地管理集群化、建筑施工精细化、企业信息数据化的转型升级，将电网基建建设推到一个更高的台阶。

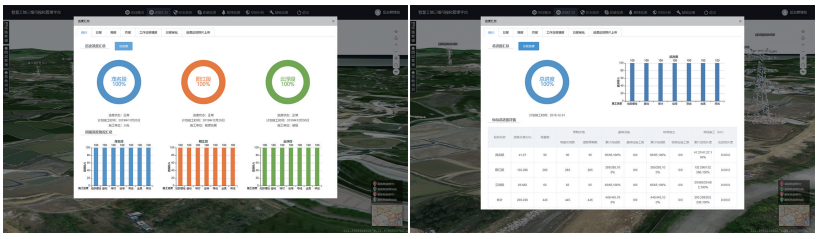


图5　智慧工地管理平台安全监测界面

5　结　语

智慧工地平台的建设和运营对项目建设呈现以下积极影响：

1）施工现场采用无人机视频监控、AI智能识别（安全帽穿戴）等技术，实现了施工人员违规行为智能识别，提高了电力施工现场安全监控与管理成效。

2）基于无人机可见光影像的杆塔施工自动化进度管理技术，对采集的LiDAR点云数据进行体素化，再通过体素索引进行变化检测，自动计算施工进度信息，并结合项目进度管控系统研究成果，可提高施工进度管理效率。

3）通过基于无人机的可见光杆塔安装质量快速检查、基于地面激光LiDAR的软跳线安装质量快速检查、基于地面激光LiDAR的杆塔预偏值智能检测以及导线牵引过程在线视频监控等技术手段，提高了质量管理能力，确保了线路工程如期投产。

4）支持项目进度情况接入，自动统计和三维可视化展示施工进展情况，实现了施工过程资料上传、统计、分析、施工进度滞后自动预警等功能，辅助提高了工程施工过程管理信息化水平和施工进度管理效率。

在科学技术快速发展的背景下，很多行业迎来了新的发展机遇。本文通过构建智慧工地管理平台，对施工进行动态管控，在高度信息化的基础上实现了一种支持人事物全面感知、施工技术全面智能、工作互通互联、监管防控一体化的新型信息化手段，对促进智慧工地的发展具有积极意义。

参考文献

[1]　王立,黄印.“互联网+”智慧工地建设方案[J].四川水力发电,2019,38(6):10-13

[2]　王薇,韩彩红.智慧工地云平台的构架[J].建设科技,2017(14):99-100

[3]　欧红亮,吴恩明.基于BIM技术的智慧工地在公路工程项目中的应用[J].中国水运(下半月),2020,20(4):48-49

[4]　单卫明,闻凯,梅洁辉.基于现代信息技术的智慧工地系统构建及应用[J].中国新通信,2019,21(23):55-57

[5]　王晓波.基于物联网技术的电网工程智慧工地研究与实践[J].电力信息与通信技术,2017,15(8):31-36

[6]　孙杰,谢文寒,白瑞杰.无人机倾斜摄影技术研究与应用[J].测绘科学,2019,44(6):145-150

[7]　杨必胜,梁福逊,黄荣刚.三维激光扫描点云数据处理研究进展、挑战与趋势[J].测绘学报,2017,46(10):1 509-1 516

[8]　周学文.LiDAR技术在电力线路工程中的应用[J].测绘科学,2010,35(5):83-85

[9]　李啸啸,范宝伟.机载LiDAR点云电力线数据处理及安全检测[J].测绘地理信息,2020,45(1):110-113

[10]　曾凝霜,刘琰,徐波.基于BIM的智慧工地管理体系框架研究[J].施工技术,2015,44(10):96-100

[11]　蔡伟,乐健,靳超,等.基于视频识别技术的变电站防误操作系统的研究[J].电力系统保护与控制,2011,39(12):112-116

[12]　何诚,董志海,王越,等.利用无人机立体摄影技术获取森林资源信息[J].测绘通报,2020(6):28-31

[13]　原明超,仇俊.无人机倾斜摄影测量在三维模型测图中的应用[J].测绘通报,2020(7):116-119

[14]　麻卫峰,王成,王金亮,等.激光点云输电线精细提取的残差聚类法[J].测绘学报,2020,49(7):883-892

[15]　麻卫峰,王金亮,王成,等.一种基于机载LiDAR点云电力线自动提取方法[J].测绘科学技术学报,2019,36(1):39-44

[16]　陆国俊,陈畅,杨荣霞,等.电网工程建设智慧工地探索、研究与应用[J].价值工程,2020,39(13):251-253

[17]　龙丽娟,夏永华,黄德.一种基于三维激光扫描点云数据的变电站快速建模方法[J].激光与光电子学进展,2020,57(20):361-370

[18]　邬镇伦,程效军,辛佩康,等.基于激光点云与建筑信息模型技术的复杂船舱容积计算方法[J].激光与光电子学进展,2019,56(5):234-242

[19]　张子健,程效军,曹宇杰,等.结合激光与视觉点云的古遗迹三维重建应用[J].中国激光,2020,47(11):273-282