

三维激光扫描技术在历史建筑数字化存档管理及保护中的应用

程远臻^{1*}, 白 颢^{2*#}, 刘 河¹, 王泽玮², 陈朝阳², 莫书鹏²

¹中冶成都勘察研究总院有限公司, 四川 成都

²金景(海南)科技发展有限公司, 海南 海口

收稿日期: 2022年11月1日; 录用日期: 2022年11月21日; 发布日期: 2022年12月5日

摘 要

数字化存档管理作为文化遗产保护的重要组成部分, 对历史建筑迁移与复建、核心价值要素复原修缮等具有重要意义。三维激光扫描技术以其高精度三维空间数据获取的优势, 可以对历史建筑进行完整的全要素信息获取, 近年来在古建筑数字化存档管理中得到了深入的应用。结合地理信息与建筑信息(GIS + BIM)技术及多层次属性数据库综合管理手段, 可以对城市域范围内的历史建筑进行多维度的数字化存档与重建, 结合智慧城市三维综合规划决策平台, 可以实现对历史建筑数字化信息的时间轴数据管理, 并在其保护、修复及升级改造过程中发挥至关重要的作用。本文以海口市骑楼老街数字化项目为例, 详尽分析了基于三维激光扫描及遥感地理信息等主要技术手段, 在历史建筑数字化存档管理及保护中的有益探索。

关键词

历史建筑, 数字化存档管理, 三维激光扫描

Digital Documentation Management and Protection of Historical Buildings by 3D Laser Scanning Technology

Yuanzhen Cheng^{1*}, Hao Bai^{2*#}, He Liu¹, Zewei Wang², Chaoyang Chen², Shupeng Mo²

¹Chengdu Surveying Geotechnical Research Institute Co., Ltd. of MCC, Chengdu Sichuan

²Brisight (Hainan) Technology and Development Co., Ltd., Haikou Hainan

Received: Nov. 1st, 2022; accepted: Nov. 21st, 2022; published: Dec. 5th, 2022

*共同第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 程远臻, 白颢, 刘河, 王泽玮, 陈朝阳, 莫书鹏. 三维激光扫描技术在历史建筑数字化存档管理及保护中的应用[J]. 管理科学与工程, 2022, 11(4): 417-426. DOI: 10.12677/mse.2022.114052

Abstract

Digital documentation management is critical important to the protection of culture heritage. It's extremely meaningful not only to the migration and key components restoration but also to the value promotions of historical buildings. Because of the benefits of high accuracy spatial information collection of 3D Laser Scanning technology, it's widely used in the application of documentation and protection of historical buildings recently. Based on the techniques of geographical information system (GIS) and building information modelling (BIM) as well as the management and analysis of the multi-level property database, it's possible to fulfill the requirements of digital documentation and restoration of city-wide historical buildings information. Combined with 3D urban planning assistant decision-making platform of smart city, the digital information of historical buildings could be managed by timelines, and play a critical role in protecting, restoring and updating. This paper takes an example of the digitalizing project of Haikou Qilou ancient street to explore the benefits of documentation management and protection of historical buildings based on the techniques of 3D laser scanning, remote sensing, and geographical information system (GIS).

Keywords

Historical Buildings, Digital Documentation Management, 3D Laser Scanning

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

历史建筑不仅在民族文化、地域风俗、造型结构上,也在设计规划、施工装饰、工艺材料上,都是不同时代性的地域文化、技术、经济在建筑文化上的集中反映,都具有不可再生的时代性艺术价值。历史建筑的可持续性保护和利用,在人类发展史中具有人与自然和谐共生的极重要的意义。对此,在当今的经济与文化高速发展的社会中,历史建筑的可持续性保护和利用意识已成为社会的公共责任,尤其是从事维护历史建筑可延续的建筑技术人员更负有历史的社会责任。

三维激光扫描技术作为近年来兴起的三维空间数据高精度获取的新技术手段,在多个领域获得了深入的应用,包括隧道施工开挖的结构面快速识别[1]、三维复杂曲面识别与信息重建[2]、岸线滩涂数字高程快速测量评估等[3]。在历史建筑及遗址存档及保护领域,因其能较真实全面地纪录历史建筑的现状面貌,及“非接触式”的测量方式,不会对历史建筑造成间接破坏,三维激光扫描技术正在各个方面发挥越来越重要的作用,包括古遗址现状三维数据全范围获取与数字化[4]、重点古建筑及古城墙三维数字化重建及存档[5] [6],及历史建筑破坏程度分析等[7]。三维激光扫描技术应用于历史建筑测绘存档工作中,为历史建筑研究与保护提供了新的手段,体现了古建筑保护的核心思想,即让建筑物在“不改变原状”的条件下长期健康存在。

由于传统历史建筑建造年代久远,历史图纸缺失,同时多数历史建筑,外立面和内部装修精美复杂,采用常规测绘方法必然无法精确全面地测量各种建筑细部的尺寸,这将给之后的保护修缮带来困难。而采用三维激光扫描技术对其进行测量,获得的数据精确、详实、无死角,而且数字化的点云测量数据可作为电子文件永久保留,日后可根据使用需要随时调用,高效方便。

随着数字与信息技术的快速发展,信息技术及建筑三维信息模型(BIM)手段已经广泛应用于建筑工程

管理的相关领域[8], 历史建筑数字化管理及保护过程中也越来越多的引入建筑信息模型(BIM)管理手段, 同时结合三维激光雷达(LIDAR)扫描技术[9], 可以更全面对历史建筑进行全生命周期的信息化管理, 并为历史建筑的长期保护与价值提升提供完整准确的历史数据及相关属性背景资料。

海南以其独特的地理位置, 具有非常鲜明的历史建筑遗留, 包括家族宗祠祖宅、古遗址、革命旧址及革命纪念建筑物、摩崖题记、石刻、碑刻、近现代重要建筑和遗址等[10]。本文以海口市骑楼老街为代表的近现代历史建筑群数字化存档及管理项目为例, 深入探讨了三维激光扫描及遥感测量技术在历史建筑数字化存档管理中的应用过程, 并在基础二维数字化信息的基础上, 结合建筑信息模型(BIM)及地理信息系统(GIS)的管理方法, 建立了一套可视化历史建筑三维管理平台系统, 不仅包含了历史建筑完整的三维空间信息、文物细节信息、准确地理位置信息等, 还囊括了完整的历史文化背景信息、文物(建筑)历史变化及修缮信息、古建筑结构样式等核心关键属性信息, 并建立多层数数据库, 做到各类信息与空间基础数据一一关联并可快速查询调阅。

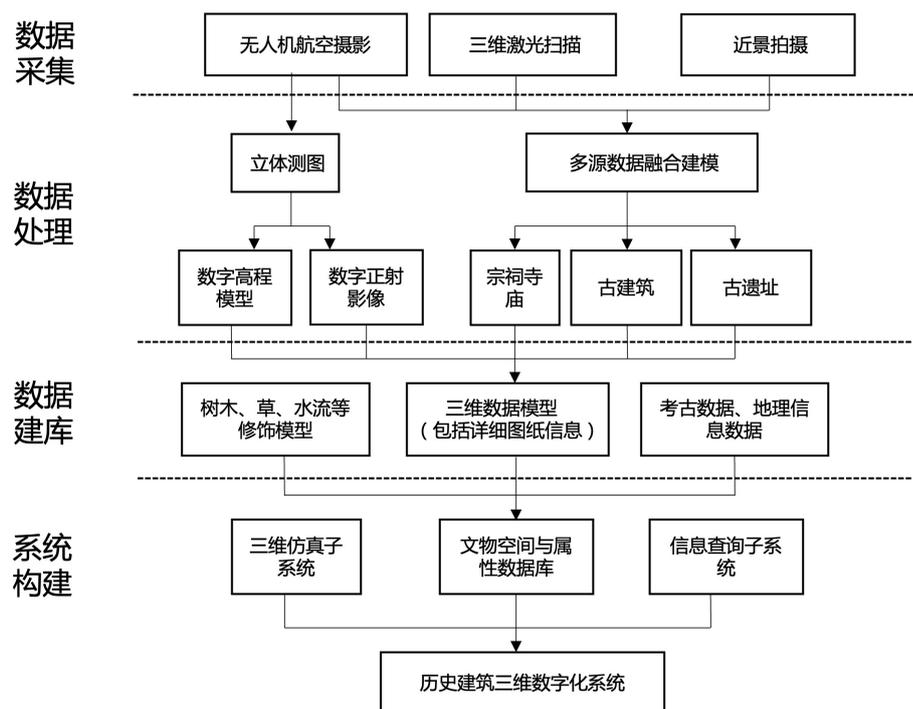


Figure 1. Diagram of digitalized management approach of the historical buildings
图 1. 历史建筑数字化管理流程架构

2. 历史建筑数字化管理流程

随着三维空间采集技术、遥感测量手段及数字孪生技术的不断发展, 历史建筑数字化存档管理的手段从之前的传统点线面测量向信息获取更加全面的三维全要素空间信息采集转变, 并在全国大部分的历史建筑数字化存档保护工作中得到了广泛尝试, 同时结合可视化三维历史建筑管理平台, 完成了历史建筑数字化存档及保护管理的完整流程。

如图 1 所示, 历史建筑数字化存档及综合管理流程的建立主要包括了四个主要方面: 1) 基础数据采集; 2) 数据处理建模(绘图); 3) 数据库构建; 4) 系统管理平台构建。

基础数据采集过程主要由三维激光扫描、低空无人机航空遥感影像拍摄及重点部位近景照片获取三部分构成, 其中以三维激光点云数据为作为历史建筑数字化存档的主要原始数据源, 以获得历史建筑完

整的内部空间及外部立面高精度可量测三维数据, 配合无人机倾斜摄影、正射影像及多角度照片获取历史建筑全貌及重点位置影像数据, 以达到历史建筑数字化存档数据的完整性。

在基础数据获取的基础上, 需要进一步对多源数据进行有效的融合表达及矢量化绘图建模, 提取能够被高效利用的历史建筑数字化图纸或模型信息。因三维激光点云具备的高精度三维空间可量测几何信息的特点, 基础数据可以被有效提取为具有结构化信息的三维模型或矢量化图纸。目前的数据处理过程主要依靠相关软件采用人工量测绘图及建模的方式实现, 但是随着三维点云数据应用的不断深入及各类人工智能算法的完善, 越来越多的自动化分类提取及建模方法应运而生[11], 显著降低了历史建筑数字化过程的数据生产成本, 从而进一步推动历史建筑数字化管理及保护工作的发展。

在数据结构化(矢量化)构建完成后, 进一步构建历史建筑数字化管理的数据库架构, 并分类关联到相应的具体建筑或构件, 赋予历史建筑完整的地理位置信息、周围环境信息、建筑结构信息、历史沿革信息、建筑破坏及保护措施信息等。

综合上述内容, 最终完成三维可视化历史建筑管理平台的构建工作, 能够有机协调原始三维基础数据、一一对应的结构化模型或矢量化图纸信息以及延伸的各类属性或地理信息数据, 实现历史建筑数字化管理体系的搭建, 并具备完善的时间轴管理能力及优秀的延展性, 从而更好的服务于历史建筑的保护与价值提升工作。

3. 三维激光扫描技术简介

三维激光扫描技术, 是通过内部的激光脉冲发射器发出激光脉冲对被测目标进行多角度扫描, 信号

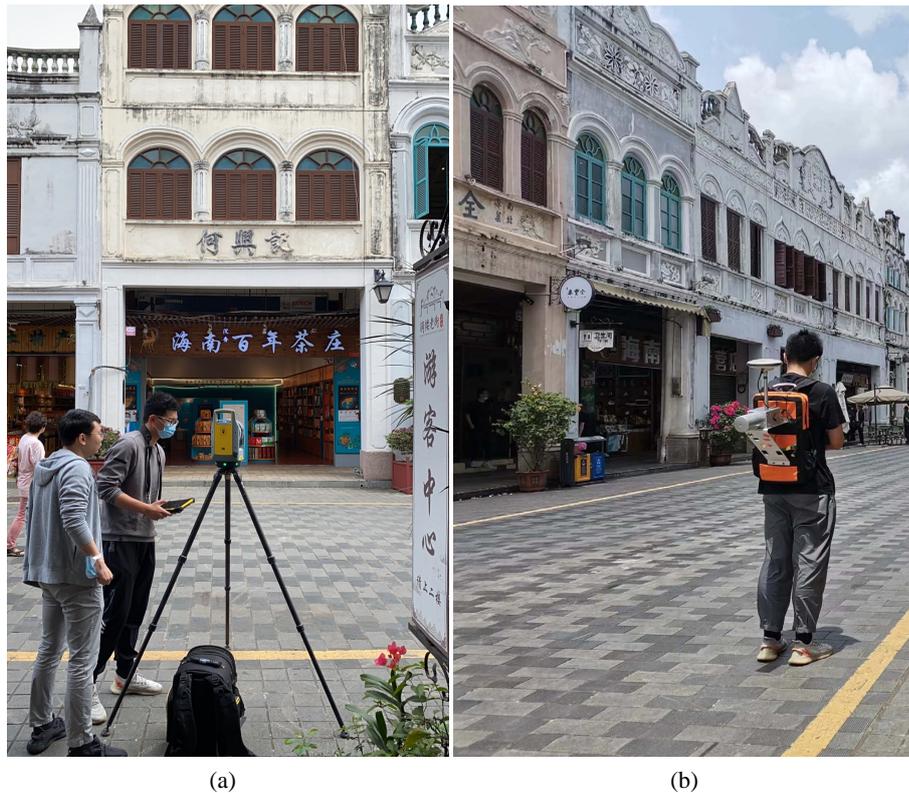


Figure 2. Pictures of laser scanning process of historical buildings at Haikou Qilou Old Street; (a) Static 3D Laser Scanning; (b) Mobile LiDAR Scanning

图 2. 三维激光扫描技术在海口骑楼老街应用示例; (a)静态站式激光扫描仪; (b)移动背包激光雷达系统

接收器接收反射自目标物的激光脉冲, 通过观测每个激光脉冲从发出到被测物表面反射回接收器的时间差(TOF)或波形相位差, 获得被测目标体到扫描中心的距离及激光回波角度, 从而获得被测目标位置的相对三维坐标并组成被测目标物的点云聚合, 进而通过地理控制点可以转换成具有绝对坐标位置的空间三维点云及三维模型。

除站点式三维激光扫描外, 结合全球定位系统(Global Positioning System, 简称 GPS)以及惯性测量单元(Inertial Measurement Unit, 简称 IMU)的移动激光雷达系统(Mobile Lidar System)可以搭载于不同的移动平台在室外行进过程中直接快速获取具有绝对地理坐标的高精度三维激光点云数据。移动激光雷达系统有多种载体方式, 车载, 船载, 机载, 背包等, 根据不同的用途及相关的作业要求选取相应的载体作业方式进行数据获取。Mobile LiDAR 作为一种新兴的测量技术, 其高灵活性、高准确性、高安全性以及高效性等特点得到广泛认可, 在测绘、资源调查、环境检测、三维城市建模、灾害应急处理、重大工程建设、国土监察等领域拥有独特的优势。尤其是在地理信息管理领域, Mobile LiDAR 技术的特点更能得到充分的发挥。

在本文项目案例海口市骑楼老街数字化存档项目中, 充分结合了站点式激光扫描仪与背包移动激光雷达系统的优势进行完整的三维点云数据获取。针对骑楼建筑外立面、重点装饰区域及室内信息采集, 主要采用静态站点式三维扫描仪进行数据获取(如图 2(a)所示), 保证高精度复刻历史建筑现状空间信息; 针对整体街区道路及建筑分布总体情况, 采用背包式移动激光雷达系统进行快速大范围三维基础数据获取(如图 2(b)所示), 大尺度还原整个历史建筑集中街区的整体三维信息原貌。

4. 实施案例

4.1. 项目案例概况

项目案例区域主要位于海口骑楼老街区域, 目前为海口市著名景点与旅游商业街, 受人员流动影响较大, 数据完整获取具有较大难度, 数据采集前需提前制定科学的数据采集计划, 避开人群。本项目区域历史建筑分布密集, 覆盖范围较大, 传统测量方式与航拍影像测量均无法得到完整的数据。结合三维激光雷达系统非接触式及数据穿透特点, 可以极大的降低历史建筑三维数据获取的难度, 显著提高数据普查效率。图 3 为工程测试区域卫星影像概况。



Figure 3. The satellite image of the project site (Haikou Qilou Old Street)
图 3. 项目区域(海口骑楼老街)卫星影像图

4.2. 基础三维数据获取

本文中针对骑楼老街区域的历史建筑三维测量, 采用了背包式激光雷达与站点式激光扫描仪相结合进行三维激光点云获取为主, 无人机遥感影像采集为辅的综合数据获取方式, 保证了项目区域历史建筑全要素三维空间数据的完整获取。

数据获取过程中, 首先依据项目区域路网分布, 采用金景科技自主研发的 BRISIGHT V-IV 背包式移动激光雷达系统(如图 2(b)所示)对街区全部范围进行三维激光点云数据获取, 图 4 所示为本项目包含范围内整体三维激光点云数据示意。

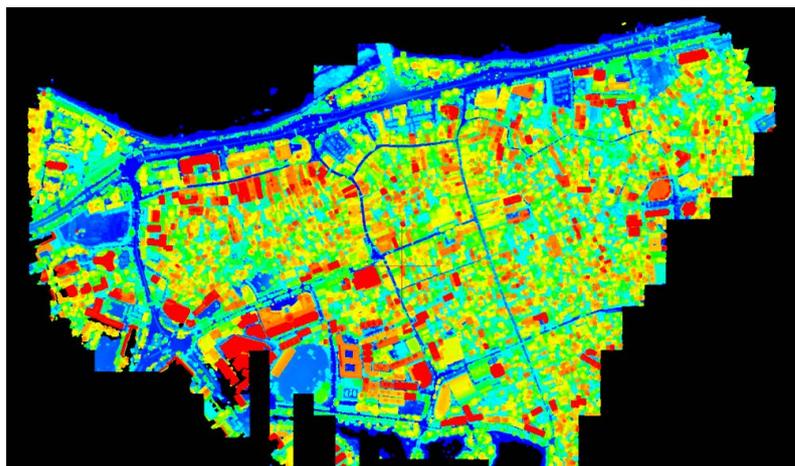


Figure 4. The 3D LiDAR point cloud data of the project site (Haikou Qilou Old Street)

图 4. 项目区域(海口骑楼老街)整体三维激光点云数据示意

针对独立建筑外立面、室内三维数据及重点位置高精度数据获取, 采用站点式三维激光扫描仪(如图 2(a)所示)依据站点采集规划图(如图 5 所示)依次完成历史建筑室内外全部区域数据获取, 并将全部原始数据及采集站点规划图依据文档管理规范进行命名归档, 进而与可视化三维古建筑管理平台数据库进行完整对接, 最终实现全部原始数据的长期有效保存和管理, 做到数据原始保存、随时可查及多期历史数据留存对比。

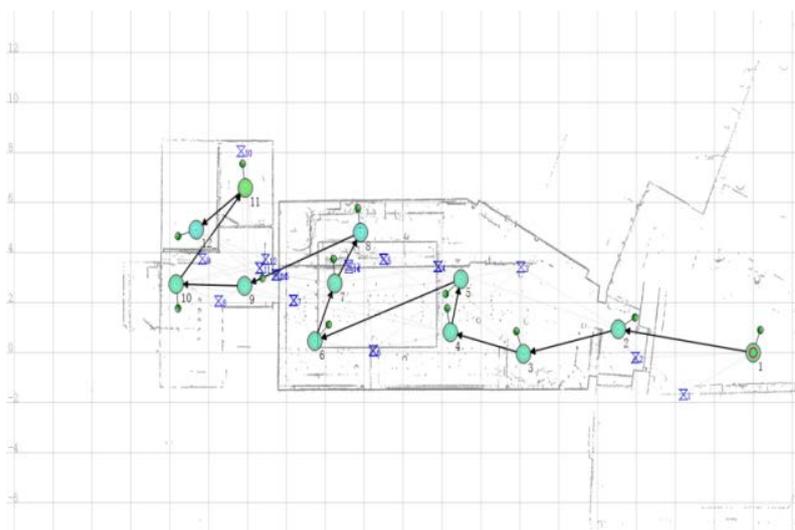


Figure 5. The diagram of static 3D laser scanning equipment on-site working procedure

图 5. 静态站点式三维激光扫描仪工作站点图

为更好的了解历史建筑及周边环境的全貌, 及其数字化存档管理及保护的科学实施, 在完整三维激光点云获取的基础上, 同时采用低空无人机遥感及近景摄影测量技术, 全面获取历史建筑分布区域及建筑体重点位置的影像纹理数据。如图 6 所示, 项目过程中, 利用小型无人机手动操控(图 6(a))或规划航线自动飞行(图 6(b))的方式, 对历史建筑整体分布区域或重点位置进行影像纹理数据采集, 获取历史建筑分布范围全域的三维倾斜数据、正射无人机影像数据及逐个建筑重点位置近景影像数据等, 进而完成对历史建筑建筑基础数据的全面获取。



Figure 6. The pictures of UAV data collection and flying paths design
图 6. 无人机数据采集及飞行规划示意图

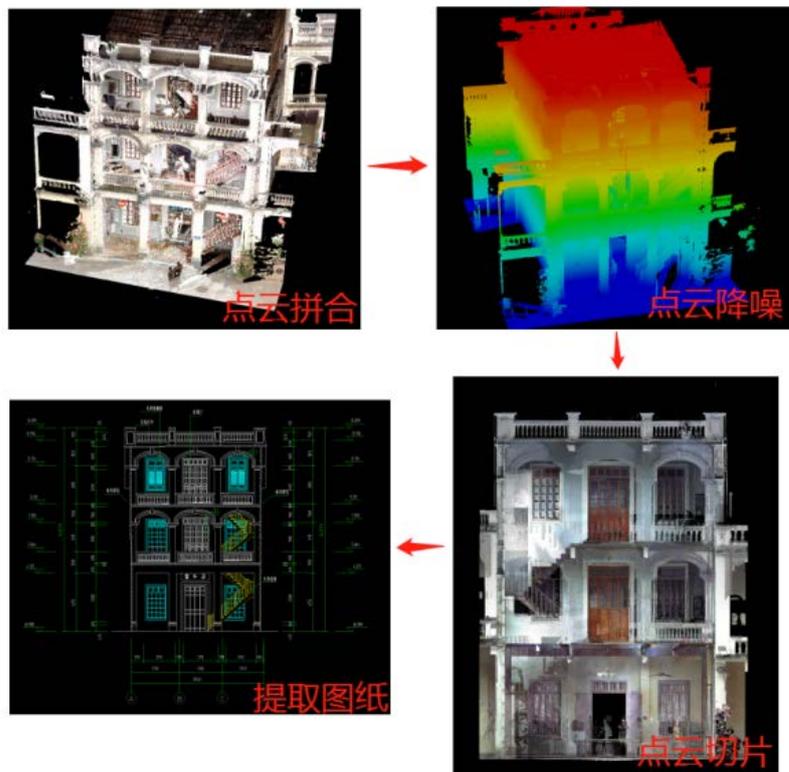


Figure 7. The diagram of point cloud data processing procedures to CAD drawings
图 7. 激光点云数据矢量化图纸提取过程示意图

4.3. 激光点云数据矢量化与模型化处理

在上述基础三维空间数据获取的基础上, 经过三维激光点云数据拼接、去噪及算法识别后, 结合倾斜摄影影像数据、近景纹理数据及顶面正射影像数据等, 对历史建筑区域范围内的多源基础空间数据进行有效融合处理后, 进行历史建筑数字化管理流程中最为重要的图纸绘制(矢量化)及模型制作(空间数据结构化)过程。图 7 展示了以三维彩色三维激光点云为例进行历史建筑里面图纸绘制(矢量化)的基本流程, 主要包含了以下四个步骤: 点云拼接、点云降噪、点云正射切片及矢量化图纸绘制。

完成数据矢量化提取绘制后的历史建筑平面图、立面图、剖面图及重点部位大样图是历史建筑数字化存档及保护的核心数据成果, 不仅时历史建筑的现状及建筑风格的具体呈现, 也是各阶段历史建筑保护能够顺利有效实施的核心基础资料, 因而在整个历史建筑数字化存档保护工作中具有举足轻重的作用。

在历史建筑完成平面绘图矢量化后, 为了更好的反映历史建筑的真实空间原貌及更正丰富的结构化信息, 具备结构分割属性的三维结构化模型(或历史建筑信息化模型(HBIM))的构建也非常必要。如图 8 所示, 在基础点云数据的基础上, 可以形成结构化的三维历史建筑信息模型(HBIM), 在次模型的基础上, 可以进行更深入的多层次数据及属性管理, 并将全部数字化档案资料与空间模型数据一一对应, 使可视化三维历史建筑信息管理平台的构建成为可能。



Figure 8. The illustrative of 3D historical building information model (HBIM)

图 8. 骑楼历史建筑三维信息模型展示

4.4. 三维历史建筑可视化管理平台构建

在完成全部基础数据采集、分类整理归档及图纸(模型)化处理后, 在海口骑楼项目中, 创新性的采用地理信息系统(GIS)与建筑信息模型系统(BIM)相结合的方式, 构建可视化三维历史建筑信息管理平台。如图 9 所示, 三维历史建筑可视化管理平台以地理信息管理平台为基础, 以无人机倾斜摄影数据为基础展示数据, 以获得更生动的场景还原, 同时关联每个历史建筑的地理信息位置, 通过文档管理数据库、

三维模型数据库、原始点云数据库以及历史文化背景数据库的构建, 共同构成了三维历史建筑可视化管理平台。



Figure 9. The illustrative of brisight 3D historical building management platform

图 9. 金景科技三维历史建筑可视化管理平台展示

除地理信息平台的基本特点外, 金景科技自主研发的三维历史建筑可视化管理平台还同时结合了历史建筑信息模型管理平台(HBIM Management Platform)的特点。依托结构化的三维历史建筑信息模型, 可以将历史建筑数字化管理的精细度向构件及重点装饰物延伸, 以充分表达独立历史建筑中存在的结构样式特征、结构连接特征、修缮保护历史数据、装饰物特征属性信息及其他与特定构件相关的属性资料或文档, 并将上述数据在统一的属性数据库中进行系统管理, 便于历史建筑学者及保护修缮人员方便快捷的直接查找调取。

5. 结论

本文以历史建筑数字化存档与保护管理为着眼点, 并以海南省海口市骑楼老街历史建筑数字化存档项目为例, 引入日渐成熟的三维激光扫描技术为主要数据获取手段, 利用完整的三维激光点云数据进行历史建筑矢量化图纸的绘制及结构化三维信息模型的制作, 同时辅以无人机低空遥感及近景摄影测量技术, 从而获得更加完整的历史建筑数字化信息。在全面获取历史建筑数字化信息的基础上, 同时结合地理信息系统(GIS)与建筑信息模型(BIM)管理平台的特点, 构建了主要针对历史建筑数字化管理的三维可视化管理平台, 不仅包含了历史建筑建筑数字化过程中的全部原始数据资料、照片、工作日志、采集流程图等, 还包括了经过矢量化提取的历史建筑平立剖图纸及结构化三维信息模型等, 同时还将建筑的历史文化信息、结构样式特征、修缮保护历史日志等属性信息与独立建筑的地理位置信息或具体结构构件一一对应关联, 不仅可以在数据库中进行统一查找管理, 还可以在可视化平台中直接点击具体建筑或细节构件进行快速调取, 极大方便了历史建筑数字化及保护工作的推进。

参考文献

- [1] 孙文志, 杨辉, 郭景生, 李锴. 基于三维激光点云的隧道开挖岩体结构面识别与信息提取[J]. 土木工程, 2022,

- 11(5): 690-698. <https://doi.org/10.12677/hjce.2022.115074>
- [2] 杨敏, 马俊杰, 张俊. 三维激光扫描技术在复杂曲面中的应用[J]. 测绘科学技术, 2021, 9(3): 82-89. <https://doi.org/10.12677/gst.2021.93010>
- [3] 白颢, 王泽玮, 莫书鹏, 等. 基于移动激光雷达技术的岸边滩涂区域三维地形测量方法研究[J]. 探索科学, 2021(9): 112-113+115. <https://doi.org/10.1227/j.issn.2095-588X.2021.09.058>
- [4] Al-Kheder, S., Al-Shawabkeh, Y. and Haala, N. (2009) Developing a Documentation System for Desert Palaces in Jordan Using 3D Laser Scanning and Digital Photogrammetry. *Journal of Archaeological Science*, **36**, 537-546.
- [5] Wei, O.C., Chin, C.S., Majid, Z. and Setan, H. (2010) 3D Documentation and Preservation of Historical Monument Using Terrestrial Laser Scanning. *Geoinformation Science Journal*, **10**, 73-90.
- [6] Cheng, L., Wang, Y., Chen, Y. and Li, M. (2016) Using LiDAR for Digital Documentation of Ancient City Walls. *Journal of Cultural Heritage*, **17**, 188-193.
- [7] Crespo, C., Armesto, J., González-Aguilera, D. and Arias, P. (2010) Damage Detection on Historical Buildings Using Unsupervised Classification Techniques. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **38**, 184-188.
- [8] 田红茗. 信息技术在建筑工程管理中的应用研究[J]. 管理科学与工程, 2021, 10(4): 375-380. <https://doi.org/10.12677/mse.2021.104045>
- [9] Yaagoubi, R. and Miky, Y. (2018) Developing a Combined Light Detecting and Ranging (LiDAR) and Building Information Modeling (BIM) Approach for Documentation and Deformation Assessment of Historical Buildings. *MATEC Web of Conferences*, **149**, 02011.
- [10] 毕荣鑫. 海南历史文化资源开发与保护研究[J]. 地理科学研究, 2017, 6(1): 35-48. <https://doi.org/10.12677/gser.2017.61005>
- [11] 杜建丽, 陈动, 张振鑫, 等. 建筑点云几何模型重建方法研究进展[J]. 遥感学报, 2019, 23(3): 374-391.