

doi: 10.11830/ISSN.1000-5013.201703023



采用激光扫描的古田会议会址 三维几何造型建模

黄明伟^{1,2}, 唐丽玉^{1,2}, 黄洪宇^{1,2}, 陈崇成^{1,2}

(1. 福州大学 地理空间信息技术国家地方联合工程研究中心, 福建 福州 350002;
2. 福州大学 空间数据挖掘与信息共享教育部重点实验室, 福建 福州 350002)

摘要: 将三维扫描的建模方式与传统的几何造型的建模方式相结合, 提出基于激光扫描的三维几何造型建模方案. 重点解决地面激光扫描仪(TLS)获取三维点云时站点布设与数据处理、几何造型中点、线、面、体的提取与三维建模, 以及纹理数据处理等问题, 实现目标建筑的真实感三维建模. 以福建省上杭县古田会议会址为例, 建立精细的三维模型. 结果表明: 该方案能够实现典型中式建筑风格的文化遗址数字化建模.

关键词: 三维建模; 激光扫描; 地面激光雷达; 激光点云; 文化遗址; 古田会议会址

中图分类号: P 231.5; TU 242.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2017)03-0414-05

3D Geometric Modeling of Gutian Meeting Site Using Laser Scanning

HUANG Mingwei^{1,2}, TANG Liyu^{1,2},
HUANG Hongyu^{1,2}, CHEN Chongcheng^{1,2}

(1. National Engineering Research Centre of Geospatial Information Technology,
Fuzhou University, Fuzhou 350002, China;
2. Key Laboratory of Spatial Data Mining and Information Sharing of Ministry of Education,
Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Combined 3D scanning modeling method with the traditional geometric modeling method, we proposed a geometric modeling scheme based on 3D laser scanning. It solved the sites layout problem when terrestrial laser scanner obtained 3D point cloud, the data processing, the extraction for point, line, surface and body in geometric modeling, and the problem in texture data processing and so on, which realized 3D modeling for the target building. Taking Gutian Meeting Site in Shanghang County, Fujian Province as an example, we established a 3D highly precise model. The result showed that the modeling scheme could enabled the digital modeling for the cultural heritage with typical Chinese architectural features.

Keywords: 3D modeling; laser scanning; terrestrial laser radar; laser point cloud; cultural heritage; Gutian Meeting Site

随着虚拟现实与数字化技术的加速发展, 文化遗址的真实感三维建模已经成为计算机仿真的一个重要研究方向^[1]. 按照建模手段的不同, 文化遗址的数字化建模可以分为基于图像的三维建模、基于传统的几何造型的三维建模、基于三维扫描设备的方法等 3 种类型^[2-5]. 近年来, 国内外研究人员对文化遗

收稿日期: 2016-03-26

通信作者: 唐丽玉(1972-), 女, 副研究员, 博士, 主要从事地学可视化与虚拟地理环境的研究. E-mail: tangly@fzu.edu.cn.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAH28F02); 福建省科技重大支撑项目(2014H2005)

址三维建模开展了大量的研究与应用^[6-14]。然而,文化遗址数字化的研究与应用常局限于 3 种建模方式中的一种,而中式建筑物复杂多样,单一的建模方法不容易重建出高精度、真实感的三维模型。本文采用激光扫描建模方式对古田会议会址进行三维几何造型建模。

1 建模方案

利用地面激光雷达扫描系统获取高精度的文化遗址点云数据,通过对点云数据和纹理数据的有效处理,并利用几何造型建模的方法实现真实感三维建模,其建模过程,如图 1 所示。

建模过程示意图主要分为以下 3 个部分。1) 数据获取。涵盖现场踏勘、扫描方案设计、测站布设与点云数据获取,以及纹理数据获取。2) 数据处理。涵盖点云数据的拼接与去噪、建筑物空间几何量测、平面几何建模,此外,纹理数据处理过程包括涵盖裁剪、扭曲与变形、拼接、调色、制作 alpha 通道等。3) 三维建模。根据以上获取的墙体平面图、零部件的几何参数表,利用 3D Max 建模软件完成古田会议会址白模的构建,并处理纹理数据,构建真实感三维模型。

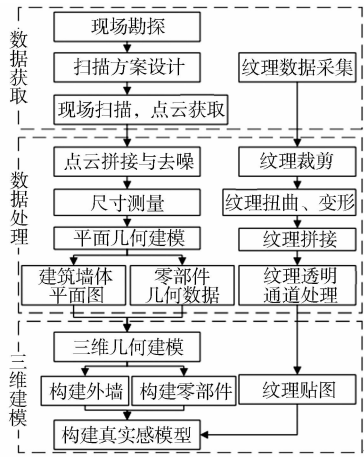


图 1 基于激光扫描的三维几何造型建模过程

Fig. 1 Pipeline of 3D geometric modeling based laser scanning

2 基于地面激光雷达的三维几何造型建模

2.1 数据采集

数据采集内容主要包括点云数据和纹理数据。使用 VZ-400 型地面激光扫描仪(奥地利 Riegl 公司)获取三维点云,并用 D300S 型相机(日本 Nikon 公司)采集纹理。激光扫描作业情况,如图 2 所示。在点云数据获取方面,需选择合适的站点位置,以最少的设站覆盖整个扫描区域,保证点云数据完整、分辨率达到要求。在纹理数据获取方面,对建筑物表面进行正面拍摄,并保证纹理数据内容完整、光照一致。

1) 现场踏勘。根据古田会议会址的空间结构特点,进行现场踏勘,设计激光扫描仪站点位置布设方案。了解现场及周边的地形和地物分布情况,确定作业范围,进而初步确定扫描站点的布设方案,同时,确定扫描仪的扫描分辨率及扫描方案。

2) 扫描方案设计。根据现场踏勘情况与三维建模要求,制定相应的扫描方案。古田会议会址整体建筑成对称分布,所以要求站点的空间分布要有对称性。经踏勘,在整个测区预计布设 45 个测站。各相邻测站点之间通视良好,要求一个测站点至少与两个测站点通视。对于结构复杂的区域应加密测站,可根据实际情况采用 0°,90°姿态扫描,以获取更完整的扫描数据。由于古田会议会址的场景较大,建筑空间复杂度多样,采用 0.04°,0.06°,0.08°等 3 种角分辨率进行扫描。

3) 测站点布设。遵循测站间通视,站间适量重叠,点云数据完整,测站尽量少的原则,以最少的时间和劳力获取完整的目标建筑点云数据。经过现场踏勘和扫描方案设计,最终在整个测区布设 42 个测站点,获得 26 GB 的点云数据。测站点空间上整体呈左右对称形式,避免出现扫描盲区及扫描冗余。

4) 纹理数据采集。纹理数据采集主要包括建筑物墙体表面纹理、窗体及门的纹理、廊道纹理、柱子围栏纹理等。纹理数据采集,遵循纹理特征均一、曝光适宜、拍摄角度适宜、无光斑、无遮挡,纹理间亮度一致的原则,以获取代表性目标纹理数据。在采集纹理时注意选择多云、光线温和的天气进行采集,避免阳光直射曝光过强。采集时间应在 10:00—15:00,此时采集的纹理清晰、颜色饱满。

5) 数据采集记录。由于激光扫描作业时数据不能即时进行处理、检核,为了方便数据的后期处理,同时为数据检核提供依据,需要做必要的数据采集记录。尤其是在建筑物扫描以获取点云的阶段,需要对各个测站点的位置、扫描方案做详细的记录,记录扫描时间、扫描参数、仪器状态、周围环境、是否存在现场干扰等,并备注扫描过程中出现的特殊情况。



图 2 激光扫描作业情况

Fig. 2 Working situation of laser scanning

2.2 数据处理

数据处理包括点云数据处理和纹理数据处理,具体流程有以下 4 点. 1) 利用 Riscan Pro 软件,进行各站点点云数据的配准,要求站点间的匹配精度达到 0.005 m. 2) 对点云数据进行删减剔除,去除与对象无关的区域. 3) 量测并记录点云模型的空间几何尺寸、墙体厚度、零部件尺寸,利用 Auto CAD 完成古田会议会址的墙体平面图的绘制、零部件三视图的绘制. 4) 纹理数据,利用 Photoshop 进行裁剪、扭曲与变形、拼接、调色、去除非目标纹理内容(如树木、行人等)、制作 alpha 通道,生成纹理数据.

1) 点云数据拼接与去噪. 每个站点所得到的点云数据未配准前,均为测站坐标系的空间坐标. 为获得建筑完整的点云数据,需要将多个站点的点云数据统一到同一坐标系下,因此,就需要对点云数据进行配准. 采用公共重叠区域的点云配准,进行粗拼接和精拼接. 粗拼接的精度控制在 0.05 m 以内,精拼接的精度控制在 0.005 m 以内. 在完成扫描站点数据间的匹配后,需要对噪声点云进行手动剔除,提取目标建筑物的点云模型. 完成拼接与去噪步骤的点云模型,如图 3 所示.

2) 三维几何量测及平面图绘制. 对点云模型进行古田会议会址的空间进行量测,得到建筑空间尺寸数据及墙体数据等建筑空间的尺寸数据,在 Auto CAD 中绘制待重建建筑的墙体中线平面图及墙体边线平面图. 三维几何量测及绘制后获得的古田会议会址平面图,如图 4 所示. 建筑空间除主体部分(墙体)外,还包括一些门、窗、柱子等零部件,需要绘制部分零部件的三视图,以便后期建模. 如果把全部零部件的量测数据直接绘制在工程图纸三视图中,会导致工程图纸复杂、混乱. 因此,可以对非关键零部件的测量数据采用表格的方式进行记录,以简化三维建模过程. 部分零部件量测数据记录表,如表 1 所示. 表 1 中: l 为长; a 为宽; h 为高.

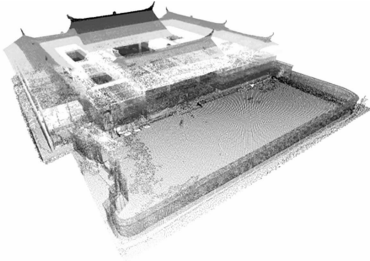


图 3 拼接与去噪后的点云模型

Fig. 3 Point cloud model after stitching and de-noising

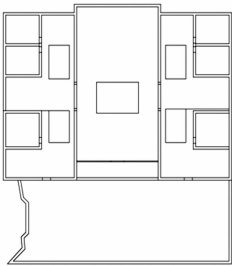


图 4 古田会议会址平面图

Fig. 4 Floor plan of Gutian Meeting Site

3) 纹理数据. 为了使建筑模型更加逼真,需要通过现场拍摄取得纹理原始图像,并经过后期处理得到纹理,将纹理通过软件映射到三维实体上构建照片级真实感三维模型. 然而,由于纹理采集角度、遮挡、光线、色调等原因,不能将采集出来的图像直接作为纹理赋予白模,需要用 Photoshop 处理,包括纹理图像的裁剪、扭曲、变形、去杂点、拼接、颜色替换、平和色调、对称等. 纹理尺寸应保证分辨率在 $28.346 \text{ px} \cdot \text{cm}^{-1}$ 以下,长、宽不宜过大,并以英文或拼音形式进行命名.

2.3 三维建模

利用点云数据获得高精度的建筑平面图、零部件几何轮廓线和尺寸,以及高质量的纹理贴图,进行三维几何造型建模.

1) 三维几何建模. 将平面图与零部件的几何样条线,由 Auto CAD 软件导入到 3D Max 软件中,根据在古田会议会址点云模型的实际测量尺寸进行三维几何建模. 首先,对古田会议会址的平面图,进行构建整体外部轮廓模型. 其次,根据各个零部件(如门、窗、桌椅等)的尺寸与相对位置,对其几何轮廓线进行三维拉伸与变形,构建三维零部件模型. 三维几何建模处理后的白模,如图 5 所示.

2) 构建真实感模型. 在纹理贴图过程中,根据各个部件的几何形态特点进行设定贴图参数. 若出现贴图发生扭曲错位,应对应添加 UVW 贴图坐标,修改贴图的重复值、纹理坐标与模型坐标的对应关系,

表 1 部分零部件量测表

Tab. 1 Parts gage table

编号	名称	尺寸		
		l/m	a/m	h/m
1	大门	1.7	2.20	2.70
2	展示牌	0.4	0.25	0.05
3	桌子	1.0	0.50	1.20
4	椅子	0.5	0.30	0.50
5	台阶	1.2	0.25	0.10
6	会址字框	20.0	0.10	0.60
7	木栏	0.1	0.01	1.20

确保几何模型与纹理数据两种数据融合的匹配性. 古田会议会址三维模型最终效果图, 如图 6 所示.

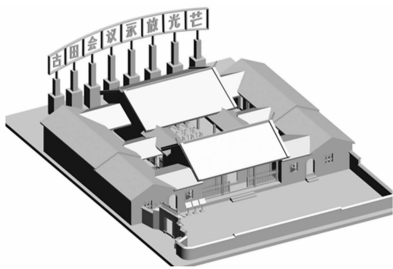


图 5 古田会议会址白模

Fig. 5 Untextured model of Gutian Meeting Site

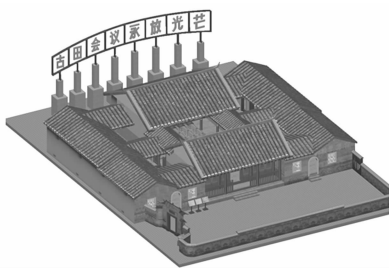


图 6 古田会议会址真实感模型

Fig. 6 Photorealistic model of Gutian Meeting Site

3 模型质量评价

3.1 模型精度评价

通过比较模型数据是否完整、模型制作是否符合精度要求、较精细的模型的整个轮廓结构与建筑高度是否表达准确等方面进行模型精度评价, 具体可以通过模型与点云数据的叠加进行检查. 此次应用主要目的是文化遗址的三维展示与宣传, 不同细节层次的模型精度已经达到以下 2 点要求.

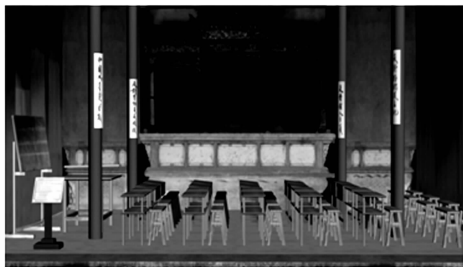
- 1) 模型的整体结构应精确地反映建筑物外轮廓的基本特征, 其模型尺寸与实际物体相差不得超过 0.1 m.
- 2) 模型的局部细节的尺寸应按实际物体的轮廓特征进行三维建模, 尺寸误差不能超过 0.05 m.

3.2 纹理评估

纹理评估是对模型纹理使用的正确性、清晰度, 以及纹理与几何模型对应的一致性进行评价. 结合整个场景效果对照野外采集的照片, 观察是否真实反映建筑物现状和年代特征及不同的材质特征, 需要达到以下 3 点要求. 1) 纹理与真实场景纹理应保持一致, 且无失真现象. 2) 纹理拼接过渡自然、亮度保持一致、无纹理接缝问题. 3) 纹理应反映物体的真实材质, 如木材质应表现为哑光, 且带有木纹的凹凸结构. 古田会议会址局部与整体效果对比, 分别如图 7, 8 所示.



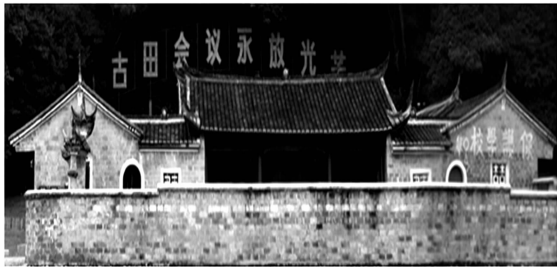
(a) 局部场景图片



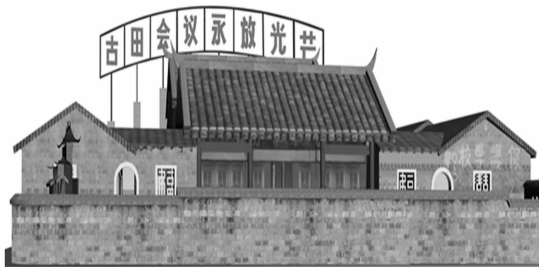
(b) 三维建模效果图

图 7 古田会议会址局部场景效果对比

Fig. 7 Comparing effect of local scene of Gutian Meeting Site



(a) 真实场景图片



(b) 三维建模效果图

图 8 古田会议会址整体效果对比

Fig. 8 Comparing effect of whole scene of Gutian Meeting Site

4 结束语

以古田会议会址为研究对象,利用地面激光雷达三维测量系统获取三维点云,开展文化遗产中近代中式建筑物的三维建模应用研究.通过激光扫描与传统的几何造型建模相结合的方法,利用新型测量方法获取数据精度高的特性和传统的几何造型建模方法的便利性,实现大场景的快速、高精度的真实感三维建模.目前,文中述及的技术流程已应用于闽西客家文化和红色双重文化遗产数字化旅游信息服务系统中,成效显著.现存问题主要是对高精度三维点云自动化建模与自动纹理映射未充分展开研究.今后将重点利用摄影测量知识,结合建筑点云的几何拓扑特征,实现激光点云的交互式或全自动的三维建模,并进一步提升模型质量,推进文化遗址高效、高精度地数字化发展.

参考文献:

[1] REMONDINO F,CAMPANA S. 3D recording and modelling in archaeology and cultural heritage[M]. Oxford:Archaeo Press,2014:15-17.

[2] SHENKAR V,HARARI A. System and method for cost-effective, high-fidelity 3D-modeling of large-scale urban environments[EB/OL]. [2016-03-26]. <http://www.google.com/patents/US20080221843/>.

[3] LOU Lou,LIU Yonghuai,SHENG Minglan,*et al.* A cost-effective automatic 3D reconstruction pipeline for plants using multi-view images[M]. Birmingham:Springer International Publishing,2014:221-230.

[4] LU Lei,ZHANG Dali. 3D geometric modeling of francis turbine blades based on wooden patterns and ug software [J]. Applied Mechanics and Materials,2014,596(3):606-609.

[5] CHENG Liang,TONG Lihua,CHEN Yanming,*et al.* Integration of Lidar data and optical multi-view images for 3D reconstruction of building roofs[J]. Optics and Lasers in Engineering,2013,51(4):493-502.

[6] 常永敏,张帆,黄先锋,等. 基于激光扫描和高精度数字影像的敦煌石窟第 196、285 窟球幕图像制作[J]. 敦煌研究,2011,25(6):96-100.

[7] 张序,李兆堃,罗小华,等. 应用三维激光扫描测量进行文物逆向工程恢复[J]. 测绘科学,2013,38(6):169-171.

[8] 赵华英,叶红华,赵冠一,等. 上海玉佛禅寺修缮与改扩建工程中的 BIM 技术拓展应用[J]. 土木建筑工程信息技术,2014,6(1):101-105.

[9] 化蕾,黄洪宇,陈崇成,等. 基于激光点云数据的客家土楼三维建模[J]. 遥感技术与应用,2015,30(1):115-122.

[10] 宋沫飞. 交互式数字几何建模及其关键技术研究[D]. 南京:南京大学,2015:1-90.

[11] 谢锦鹏,陈颖彪,千庆兰,等. 三维激光扫描技术在开平碉楼保护中的应用研究[J]. 广州大学学报(自然科学版),2015,14(1):76-81.

[12] BORRMANN D,HESS R,ECK D,*et al.* Evaluation of methods for robotic mapping of cultural heritage sites[J]. IFAC-Papers on Line,2015,48(10):105-110.

[13] REMONDINO F,EL-HAKIM S. Image-based 3D modeling of the Erechteion, Acropolis of Athens[J]. Remote Sensing and Spatial Information Sciences,2015,18(25):178-180.

[14] ZLOT R,BOSSE M,GREENOP K,*et al.* Efficiently capturing large, complex cultural heritage sites with a hand-held mobile 3D laser mapping system[J]. Journal of Cultural Heritage,2014,15(6):670-678.

(责任编辑:钱筠 英文审校:吴逢铁)