

文章编号:1005-1538(2018)04-0110-05

· 知识介绍 ·

基于 Remake 的三维建模技术在摩崖石刻 数字化重建中的应用

孙保燕, 翁裕育, 周贤君

(桂林电子科技大学建筑与交通工程学院, 广西桂林 541000)

摘要: 由于长期暴露于自然环境中,许多摩崖石刻在日晒雨淋、风沙磨蚀等多种因素作用下不断风化,前景堪忧。因此,当务之急是采取有效的措施保护和保存这类珍贵的文化遗产。数字化三维重建技术能够完整地保存石刻现状,为日后的维护、修复和学术研究提供真实、详尽的科学依据。基于 Remake 三维建模技术的方法与特点,本工作探讨该技术在摩崖石刻数字化重建中的应用。以广西桂林“桂海碑林”内的石刻为研究对象,运用 Remake 软件对数码相机获取的数字影像进行处理,对摩崖石刻进行快速精确的逆向建模。同时,将三维扫描仪获取的点云数据与本研究获取的模型数据进行同名点精度检测,分析 Remake 三维重建的精度。三维模型数据可以作为数字档案进行存档和展示,加强对摩崖石刻类文物的保护措施,具有重要的意义。

关键词: 摩崖石刻;三维建模技术;数字化重建;文物保护

中图分类号: G263;P234 **文献标识码:** A

0 引言

摩崖石刻是中国古代的一种石刻艺术,指在山崖石壁上所刻的书法、造像或者岩画。许多摩崖石刻为政治或文化名人所题,书法精美,所具有的历史价值、艺术价值是不可取代的^[1]。然而由于其长期暴露于自然环境中,摩崖石刻在日晒雨淋、风沙磨蚀等多种因素作用下不断风化,前景堪忧。因此当务之急是采取有效的措施保护和保存这类珍贵的文化遗产。数字化三维重建技术能够完整地保存石刻现状,为日后的维护、修复和学术研究提供真实、详尽的科学依据。

近年来,随着三维扫描技术迅速发展,在三维模型重建领域已经得到广泛应用。文物扫描由于精度要求较高,目前普遍采用光栅式结构光三维扫描,能够快速获取被测目标的点云图^[2-3]。处理后的点云

数据进行三维建模,最终得到高精度的模型数据。但由于三维扫描仪器架设高度的限制,无法扫描到较高位置的石刻,且点云数据的完整性易受扫描角度的影响。仪器成本高且架设繁琐,这些因素对利用该方法对摩崖石刻进行数字化重建产生一定的局限性。

Autodesk 公司于 2016 年 5 月发布了利用数字影像创建三维模型的软件 Remake。其主要功能是将一系列影像转化为高分辨率的三维网格模型,且利用其提供的智能工具箱对模型进行清理、修复和优化,成果可用于设计开发、数字保存、虚拟现实以及工业制造等。本研究基于 Remake 软件进行摩崖石刻高精度数字化建模,并与同一石刻的三维扫描建立的三维模型进行对比分析。

1 基于 Remake 三维建模方法概述

基于 Remake 的三维建模是根据所拍摄的物体

收稿日期:2016-08-01;修回日期:2017-01-03

基金项目:广西科学研究与技术开发计划资助(桂科攻 1412206-14),桂林电子科技大学研究生教育创新计划资助(2016YJCX26)

作者简介:孙保燕(1962—),男,1982年本科毕业于郑州工学院,教授,硕士生导师,研究方向为古建筑保护、数字建造与 BIM 应用, E-mail: sunbaoyan@126.com

通讯作者:翁裕育(1993—),2018年硕士毕业于桂林电子科技大学,研究方向为数字化建造与 BIM 应用, E-mail: wengyuyu1993@gmail.com

多视角影像在 Remake 中进行处理,获取影像中被摄物体表面带有空间信息和色彩信息的三维点云数据,重构三维数字模型,是一种对三维物体进行快速逆向建模的技术。与传统的利用建模软件或三维扫描仪得到立体模型的方法相比,基于影像建模的方法成本低廉,真实感强,简单快速,具有广泛的应用前景^[4]。

本研究利用数字相机对全国重点文物保护单位桂林市“桂海碑林”内的摩崖石刻进行数字影像拍摄,并将筛选后的数字影像导入 Remake 软件中,选取需要导出的精度和格式,经过影像匹配处理后导出点云数据并进行三维建模,最终得到重建的摩崖石刻高精度三维模型。图 1 为该方法的主要技术流程。

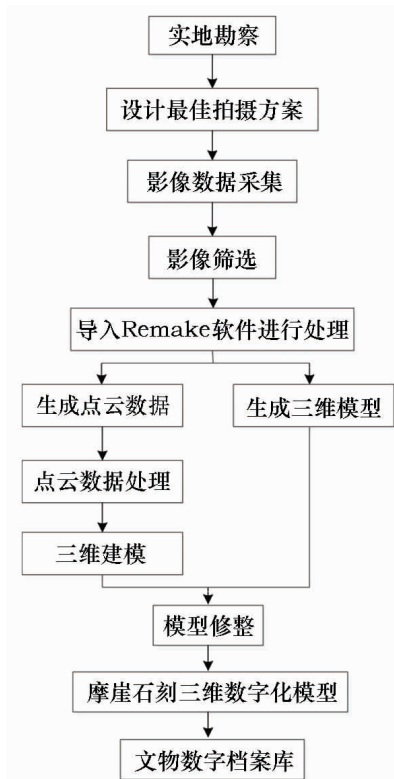


图 1 技术流程图

Fig. 1 Technology flow chart

2 数据获取

为保证重建模型的精度,本研究采用专业级的尼康 D800E 数字单反相机,对试验所选摩崖石刻进行实地勘察后选择最佳拍摄地点,根据摩崖石刻的外观形状进行多角度拍摄。影像的拍摄是后期实现摩崖石刻三维数字化重建的基础和关键,每次拍摄的位置、光的条件、被摄物体表面的反射及任何

相机传感器的数据,直接影响采集到的影像质量,因此拍摄时需注意:1)相邻影像要有一定程度的重叠,通过前期试验得出相邻影像绕目标石刻旋转 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 能够很好地还原物体的三维模型,且在光学变焦下将精细拍摄的细部与整体结合进行建模可提高模型的精度;2)对于拍摄环境光源的控制,优选是人工持续光源,其次是自然光源,不可在阳光直射光下或闪光灯下拍摄,且光源必须是稳定的漫射光,避免在石刻表面产生光斑;3)相机的参数应保持恒定,特别是光圈和快门参数,拍摄时注意将被摄物体置于影像中心,以减小透视畸变;4)为了防止拍摄时镜头抖动造成影像模糊,应使用三脚架和快门线进行拍摄。图 2 为现场数据采集示意图。

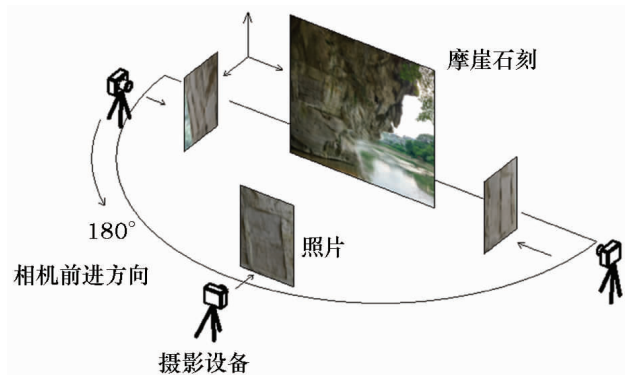


图 2 数据采集示意图

Fig. 2 Sketch map of data acquisition

3 数据处理

3.1 数字化重建

将外业拍摄的影像进行筛选,去掉对焦模糊的不合格影像,调整曝光不准确的影像,将整理后的影像导入 Autodesk Remake 软件,设置要创建的点云或模型的质量、是否进行纹理映射等参数,进行自动化影像匹配和影像处理。Remake 软件本地模式下对计算机硬件配置要求较高,为提高效率使用图形工作站进行处理;同时该软件具备在线服务模式,将影像传输到云端服务器进行计算,通过计算机网络共享数据处理后把成果返回给用户。这种通过云服务计算的方法优点是节约时间和不受计算机硬件配置的限制^[5]。在本次试验中,对摩崖石刻分别从下往上依次进行三组 180 度的拍摄,筛选后共有 54 张数字影像用于重建建模,生成的点云数据除了具有空间属性外,还具有与影像像素对应的色彩属性(红/绿/蓝,RGB 值)。

3.2 模型修整

由 Remake 导出的文件分为两种格式,一种是带有色彩、空间信息的三维点云数据文件,一种是带有纹理的网格模型(图3)。将导出的模型或点云数据文件通过 Remake 的编辑模式进行修整:1)对于模型文件,首先仔细检查模型的完整度,记录下缺漏或不清晰的位置进行局部补充拍摄,若局部拍摄不能消除该缺陷,为保证模型的精确性,应全部重新拍摄;再通过编辑工具去除目标石刻之外的其他物体,裁切出所需逆向的石刻部分;最后通过标识点等比例缩放到实际尺寸后进行保存。2)对于点云文件,同样应进行完整度检查和删除目标石刻外的其他物体,再导入到 Geomagic Studio 软件进行点云数据的去噪、采样、封装,得到修整后的模型^[6](图4)。通过以上两种方式均可导出带有纹理的摩崖石刻数字化模型数据文件。



图3 带纹理信息的石刻三维模型

Fig.3 3D model of cliff carving with texture information



图4 Geomagic Studio 封装的三维网格模型

Fig.4 3D mesh model created by Geomagic Studio

4 数据精度分析

数据精度是评价数据质量的主要标准,本研究将基于 Remake 的三维建模技术得出的点云数据与用结构光三维扫描同一石刻的点云数据进行对比,利用两类点云之间的垂直偏差评估本研究方法获得

数据的精度。

参考试验组的仪器采用 EaScan - Q 结构光三维扫描仪,主要技术指标为:点距 0.08 ~ 0.31mm,精度为 0.02 ~ 0.05mm。该精度远超出摩崖石刻模型精度要求,作为参考对象误差可忽略不计。图5为该仪器获得的点云数据。

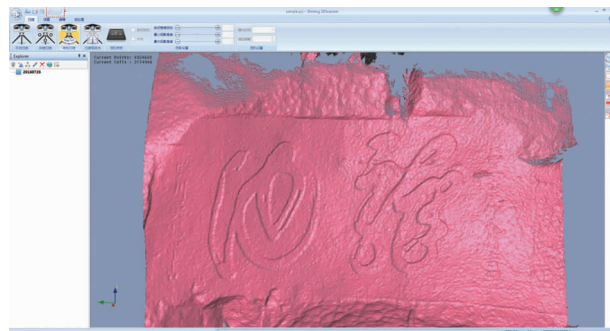


图5 三维扫描点云数据

Fig.5 Point cloud data of 3D scanning

两类点云数据都是离散的点,很难找到具有相同平面坐标的点计算垂直偏差。使用 Geomagic Studio 软件使点云进行对齐,将结构光三维扫描的点云设定为参考点云,基于 Remake 三维建模获得的点云设定为比较点云。然后以比较点云中选取的特征点为圆心,不断扩大搜索半径,直到在参考点云中寻找到距离最近的参考点(图6箭头所示),然后计算点对之间的垂直分量(图6中的 v_1, v_2, \dots),以最近点对之间的垂直分量作为数据的垂直偏差^[7]。为了保证偏差最小化,数据扫描时参考点云密度应高于比较点云。利用上述方法计算得到抽样选取的42个特征点的对比结果(表1),分析可知两组数据的特征点之间平均偏差为 0.93mm,说明平均拟合精度高,93.7%的偏差小于 1.4mm,小偏差范围分布面大。在此试验基础上,还可添加大量的细部影像以提高三维模型的精度。依据此拟合分析说明基于 Remake 三维建模技术生成的点云在单点及整体精度上都达到了较高的水准,完全可以满足大型摩崖石刻数字化重建要求。

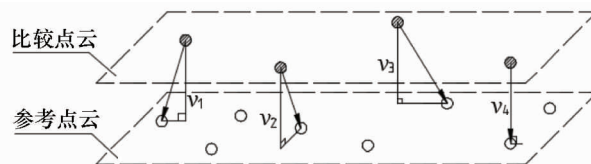


图6 计算数据垂直偏差示意图

Fig.6 Schematic diagram of calculating vertical deviation

表1 特征点精度对比

Table 1 Accuracy comparison of feature points

(mm)

特征点号	偏差	特征点号	偏差	特征点号	偏差
R1C1	1.2	R3C1	0.2	R5C1	0.4
R1C2	1.3	R3C2	0.3	R5C2	1.3
R1C3	0.9	R3C3	0.4	R5C3	1.2
R1C4	1.3	R3C4	0.9	R5C4	1.3
R1C5	0.7	R3C5	0.8	R5C5	0.6
R1C6	0.8	R3C6	1.4	R5C6	0.6
R1C7	1.4	R3C7	0.7	R5C7	0.7
R1C8	1.4	R3C8	0.1	R5C8	0.3
R2C1	0.5	R4C1	0.4	R6C1	1.4
R2C2	1.1	R4C2	0.3	R6C2	1.1
R2C3	1.3	R4C3	0.9	R6C3	0.5
R2C4	0.4	R4C4	0.2	R6C4	2.9
R2C5	1.2	R4C5	0.9	R6C5	0.9
R2C6	1.4	R4C6	1.1	R6C6	1.1
R2C7	1.1	R4C7	0.3	R6C7	0.7
R2C8	2.1	R4C8	2.1	R6C8	0.3

5 结果与讨论

本研究基于 Remake 照片三维建模技术重建的摩崖石刻三维模型,作为摩崖石刻完整、准确的数字档案。通过本试验可总结其所具备的优势:

1) 本技术能够迅速精确地完成石刻数字化重建,这对于表面复杂的石刻来说,用传统测量方法几乎是无法完成的。非接触式测量能够最大限度地防止测量时对石刻等文物的干预;数据采集过程简单,降低了外业工作强度,且设备成本低,能够大规模推广应用;基于 Remake 软件的自动影像匹配技术解决了以往照片建模需要通过复杂标定等后期处理的技术难关。

2) 本技术解决了三维扫描仪等测量设备受到地面作业限制无法获取摩崖石刻立面上半部分细部的问题。为三维扫描仪角度受限的问题提供了解决的方法,对于石刻顶部高度较低(不大于 6m)的目标,可以将相机安装在带有四轴远程操控云台的可伸缩脚架上进行拍摄。对于离地面高度较高的目标,可以采用带有高清摄影的微型无人航拍器在空中获取高角度的影像,与地面拍摄数据合成使数字化成果更加完善。

3) 利用本方法进行逆向建模能够构造出具有真实纹理的三维模型,在视觉上与目标石刻没有明显的差异,满足真实感视觉的要求。因此,除作为文物数字档案库储存外,还可直接运用于沉浸式的虚

拟现实中。成果可通过 Remake 云服务器在网络平台上提供摩崖石刻三维模型的平移与放缩,多角度自由场景漫游等可视化展示,加入石刻相关属性信息,为摩崖石刻的保护性修缮及旅游宣传提供了新途径。

6 结论

本研究利用基于 Remake 三维建模技术与实际应用的实例,对摩崖石刻的数字化重建进行了研究,提出了一种迅速精确对石刻逆向建模的方法。较传统的三维扫描方法具有速度快、外业强度低、细部效果完善、成本低廉、真实感强等优势。试验对比分析显示,本研究采用的技术方法具有良好的可行性,为复杂的摩崖石刻数字化重建工作提供了新的便捷通道,具有很好的推广应用前景。

参考文献:

- [1] 雷惊雷,黄美燕,陈卉丽,等. 摩崖石刻风化及其保护材料[J]. 材料导报,2012(15):88-92.
LEI Jing-lei, HUANG Mei-yan, CHEN Hui-li, et al. Weathering of rock carvings and their protective materials[J]. Materials Review, 2012(15):88-92.
- [2] 任卿,刁常宇,鲁东明,等. 基于结构光的文物三维重建[J]. 敦煌研究,2005(5):107-111.
REN Qing, DIAO Chang-yu, LU Dong-ming, et al. The structure light based on 3D reconstruction [J]. Dunhuang Research, 2005(5):107-111.

- [3] 郑顺义,周 漾,黄荣永,等. 馆藏文物三维测量与重建方法研究[J]. 测绘科学,2014(7):76-79.
ZHENG Shun-yi, ZHOU Yang, HUANG Rong-yong, *et al.* A method of 3D measurement and reconstruction for cultural relics in museums[J]. Science of Surveying and Mapping,2014(7):76-79.
- [4] 乔 杰,郭隽菡,兰天亮. 利用照片建模技术重建文物的三维数据模型[J]. 文物保护与考古科学,2011,23(1):68-71.
QIAO Jie, GUO Juan-han, LAN Tian-liang. Three-dimensional image-based modeling for reconstruction of cultural relics[J]. Sciences of Conservation and Archaeology,2011,23(1):68-71.
- [5] SPRING A P, PETERS C, SPRING A P, *et al.* Developing a low cost 3D imaging solution for inscribed stone surface analysis[J]. Journal of Archaeological Science,2014,52:97-107.
- [6] NGUYEN Tien Thanh,刘修国,王红平,等. 基于激光扫描技术的三维模型重建[J]. 激光与光电子学进展,2011(8):112-117.
NGUYEN Tien Thanh, LIU Xiu-guo, WANG Hong-ping, *et al.* 3D model reconstruction based on laser scanning technique[J]. Laser and Optoelectronics Progress,2011(8):112-117.
- [7] 魏占玉,Arrowsmith Ramon,何宏林,等. 基于SfM方法的高密度点云数据生成及精度分析[J]. 地震地质,2015(2):636-648.
WEI Zhan-yu, RAMON Arrowsmith, HE Hong-lin, *et al.* Accuracy analysis of terrain point cloud acquired by "structure from motion" using aerial photos[J]. Seismology and Geology,2015(2):636-648.

Application of Remake – based 3D modeling technology to digital reconstruction of cliff carvings

SUN Bao-yan, WENG Yu-yu, ZHOU Xian-jun

(College of Architecture and Traffic Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541000, China)

Abstract: This article introduces the methods and characteristics of 3D modeling technology based on Remake software and explores the application of this technology to digital reconstruction of cliff carvings. We selected the Guihai Forest of Steles, which is located in Guilin, Guangxi, as our research object. Remake software was used to process the image obtained by the digital shooting equipment and to conduct the quick and accurate reverse modeling of cliff carvings. Then the accuracy of 3D Remake reconstruction was analyzed according to the accurate verification of the feature points of the point cloud data acquired by the 3D scanner and the data acquired by this method. The 3D model data could be saved and exhibited as digital archives which have great significance for enhancing the protection measures for cliff carvings.

Key words: Cliff carvings; 3D modeling technology; Digital reconstruction; Heritage conservation

(责任编辑 潘小伦)