

3 维数字化技术在考古中的应用

刘江涛 张爱武 臧克

(首都师范大学三维信息获取与应用教育部重点实验室,北京 100037)

摘要 3 维激光扫描技术在大遗址数字化应用中涉及数据采集、数据加工、3 维建模等关键技术。以三星堆遗址一号祭祀坑为例,采用 Riegl LMS-Z420i 3 维激光扫描仪和尼康 D100 数码相机分别获取几何点云数据与纹理数据,并通过 PolyWorks 软件实现多站点点云数据配准与 3 维建模,给出大遗址数字化的整个工艺流程。

关键词 激光扫描 数据配准 ICP 算法 3 维建模

中图法分类号:P234 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)04-0654-04

The Application of 3D Digital in Archaeology

LIU Jiang-tao, ZHANG Ai-wu, ZANG Ke

(Ministry of Education Key Laboratory on 3D Information Acquisition and Application, Capital Normal University, Beijing 100037)

Abstract The 3D laser scan technology is applied in the digital model of great historic site, which is involved with data acquisition, data post-processing, rebuilding 3D model, etc. In this paper, we used that the first fete pit of San Xingdui ruins as an example, which used Riegl LMS-Z420i 3D laser scanner and Nikon D100 digital camera to obtain geometry point clouds and texture separately. And then, we accomplished that the registering multiple laser scans and accurate 3D model by the soft ware of PolyWorks. In conclusion, we could present the whole process flow in the digital model of great historic site.

Keywords laser scan, data register, ICP algorithm, 3D model

1 引言

考古遗址发掘过程中所产生的各类遗迹、遗物信息,是考古学研究的重要基础,但是在发掘过程中很多重要信息丢失是不可避免的。3 维数字化技术能够真实记录考古发掘现场,再现考古发掘前后的遗址原貌,因此,利用 3 维数字化技术记录发掘现场原始 3 维信息和纹理信息,建立真 3 维数字模型是大遗址保护的重要措施。

近几年,3 维激光扫描技术和 CCD 成像技术在大遗址数字化中发挥重要作用,相关技术不断报道^[1]。以三星堆遗址的一号祭祀坑为例,采用 Riegl

LMS-Z420i 3 维激光扫描仪和尼康 D100 数码相机分别获取几何点云数据与纹理数据,并通过 PolyWorks 软件实现多站点点云数据配准与 3 维建模,给出从数据采集、数据加工到模型建立大遗址数字化的合理工艺流程。

2 数据获取

2.1 3 维激光扫描仪

Riegl LMS-Z420i 3 维激光扫描仪^[2]可以快速扫描被测物体,它的测量距离比较大,最大可达 800m,平均的扫描精度达到 $\pm 10\text{mm}$,一次扫描精度 5mm。Riegl LMS-Z420i 的扫描范围比较大,垂直方向的视

基金项目:国家自然科学基金项目(40601081);北京市科技新星计划项目(2006B57);国家科技部“十五”科技攻关项目(2004BA810B);北京市教委科技发展计划项目(KM200610028012)

收稿日期:2006-10-09;**改回日期:**2006-12-01

第一作者简介:刘江涛(1980~),男。现于首都师范大学三维信息获取与表达重点实验室攻读地图学与地理信息系统专业硕士学位。主要研究方向为 3 维激光扫描技术。E-mail:liujiantao443@sohu.com

角可达 80° ,水平方向可达 360° 。

尼康 D100 数码相机固定在 Riegl LMS-Z420i 的顶部,如图 1 所示。数码相机使用前,要进行严格的内参数检校,在测量时,需要利用与 Riegl LMS-Z420i 3 维激光扫描仪配套的 RISCAN PRO 软件标定数码相机外参数。

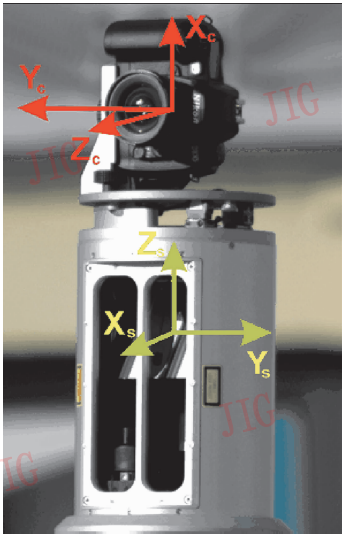


图 1 3 维激光扫描仪与数码相机安装位置

Fig. 1 Fixing position of 3D laser scanner and the camera

2.2 站点设置

Riegl LMS-Z420i 采取的是定点扫描方式,需要在合适的位置设站。如何设站必须依据现场实际环境而定。大遗址往往几何形状较复杂,从原始数据记录角度,需要数据全面、翔实,力求不遗漏死角。同时考虑不同站点采集的数据需要拼合在同一坐标系的要求,各站采集的数据要有重叠。一般来说重叠范围占 $10\% \sim 20\%$ 较为合适。

在扫描三星堆一号祭祀坑时,考虑祭祀坑的实际特点,以及 Riegl LMS-Z420i 可以水平 360° 大范围扫描,首先,将 Riegl LMS-Z420i 放在祭祀坑中间,采用水平 360° 回转扫描,获取整个祭祀坑的轮廓点云,记为 S_0 ;然后精扫描,每站水平扫描角度控制在 60° ,确保每站点之间扫描的数据有约 20% 的重叠,从不同位置不同方向全面采集数据。

激光扫描之后,在同一站点同一方位连续获取同一区域祭祀坑的多张高分辨率数码图像。并由 RISCAN PRO 软件拼合成全景图像,如图 2 所示。

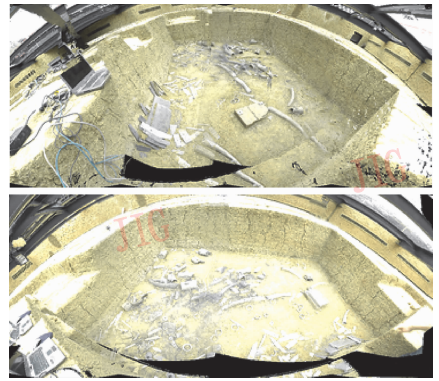


图 2 某站点的全景图像

Fig. 2 panoramas of two of scans

3 数据预处理

在利用 3 维激光扫描仪采集数据时,除了目标对象外,扫描范围内的其他物体也会被扫描进来。因此,需要在 3 维激光扫描数据内去除其他物体。

这里采用与 Riegl LMS-Z420i 3 维激光扫描仪配套的 RISCAN PRO 软件提取主要扫描对象。方法是在左视图、右视图、前视图、后视图内选取主要对象外的数据,一一进行删除。一方面提取目标对象;另一方面减少数据量,并利用该软件进行点云数据的滤波、平滑和匀化。

根据计算机视觉原理,在数码相机严格检校的基础上,RISCAN PRO 软件实现将全景图像与激光扫描点云的映射,给出了每一激光采样点的 G、R、B 值,如图 3 所示。

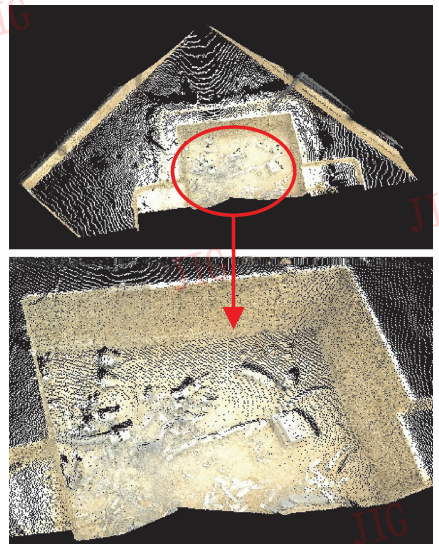


图 3 激光与可见光数据融合结果

Fig. 3 Results of fusion of laser data and image data

按上述技术路线,依次处理每站点的原始点云数据,并以将 3dd 文件格式导出数据,输入 PolyWorks 软件进行后续处理。

4 数据后处理

4.1 数据配准

由于每一次扫描的点云数据都有自己独立的空间坐标系,要建立一个完整的 3 维几何模型,就要进行 3 维数据配准^[3],使不同站点的激光数据拼合到同一坐标系。

PolyWorks 是目前市场上最优秀的 3 维点云数据处理软件之一。主要有 PolyWorks/Modeler 和 PolyWorks/Inspector 两大功能软件包。前者用于点云处理与建模,后者用于工业检测。

PolyWorks/Modeler 软件的 IMALIGN 模块可以实现多站点点云数据配准,它的核心原理是 ICP 算法^[4]。打开 Polyworks 软件的 IMALIGN 模块,导入 3dd 格式的点云数据。首先,在相邻两站点的重叠区域,人工选择至少 3 对同名点,得到一个初始的位置转换矩阵,在此基础上,软件进一步迭代优化,最终将相邻两站点数据配准在同一坐标系。然后,再考虑另一站点,利用同样的方式和已经配好的数据配准。这样,依次加入所有站点的数据。配准顺序不受采集顺序限制,在实际操作中灵活掌握。最后,以其中某一站点为基准,利用软件进行全局平差。

这里,根据祭祀坑的特点,选择水平 360° 回转扫描获取整个祭祀坑的轮廓点云的那一站,即 S_0 为基准,进行配准结果的全局平差,使各站数据之间无缝闭合。

PolyWorks/Modeler 软件的 IMALIGN 模块是十分优秀的配准工具包,但在实际应用中需要操作者的经验。尤其是多站点(10 站以上)的配准,需要规划配准策略。这里采用重叠区域最大者优先的配准策略,从众多站点中选择重叠区域最大的两站点优先配准,依次类推。在全局平差时,选择扫描范围最大的站点为基准。

图 4 是 11 个站点点云数据配准结果,不同颜色表示不同站点的数据。全局误差为 0.005 574mm。从两两站点配准到全局平差时间 0.002 316s。

4.2 3 维数据建模

PolyWorks/Modeler 软件的 IMIMERGE 模块采用 Delaunay 三角化方法对点云数据进行处理,迅速获得

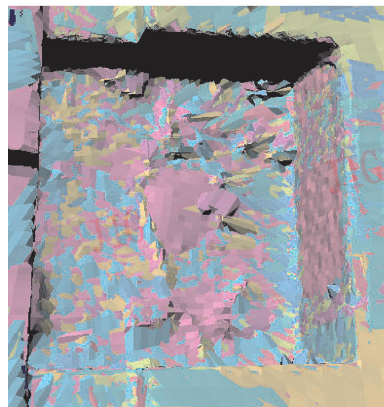


图 4 一号祭祀坑数据配准结果

Fig. 4 Registration results of the first fei pit

整个场景的三角网格模型^[5]。使用 Delaunay 三角化方法能有效地避免狭长三角形的产生。Delaunay 三角划分方法,简称 DT(Delaunay Triangulation)。理论上严格证明,当给定的结点分布中不存在 4 点或 4 点以上共圆时,Delaunay 三角划分有唯一的最优解,即所有三角形单元中最小内角之和最大。

在数据配准完成后,利用 PolyWorks/Modeler 软件的 IMIMERGE 模块建立一号祭祀坑的 3 维模型,如图 5 所示。同时,进行了拓扑错误纠正等网格优化工作。

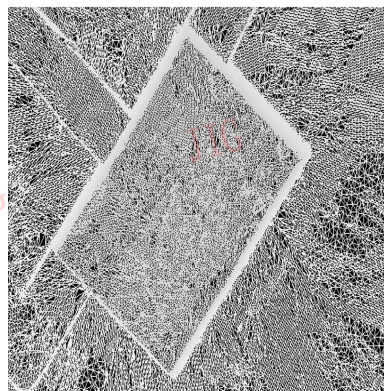


图 5 一号祭祀坑 3 维网格模型

Fig. 5 3D model mesh of the first fei pit

4.3 空洞数据的填补

由遮挡和自遮挡原因,有激光扫描不到的死角,扫描的点云数据中有空洞,构建网格时模型表面出现黑洞。不但不美观,还会影响模型的应用,如计算一个物体的体积时,会因为存在黑洞而无法计算,或计算一个多边形面积时会因为多边形面内含有黑洞而使计算错误。

空洞数据填补一般采用两种方法,当空洞出现在平面区域内,采用线性插值的方法填补空洞数据;当空洞出现在非平面区域,采取二次曲面插值方法或B样条曲线方法^[6]。

三星堆一号祭祀坑周围基本无遮挡,空洞的出现主要由于目标本身的自遮挡而造成的扫不到的死

角。只是零星的小范围的数据缺失,适于由插值算法填补。本文3维模型导入PolyWorks/Modeler软件的IMEDIT模块进行空洞数据的填补。选取空洞周围的数据,删除过于凸凹的三角网格,利用曲面插值方法对空洞进行填补。图6是补洞处理前后的效果,经过补洞处理,获得了完整的网格模型。

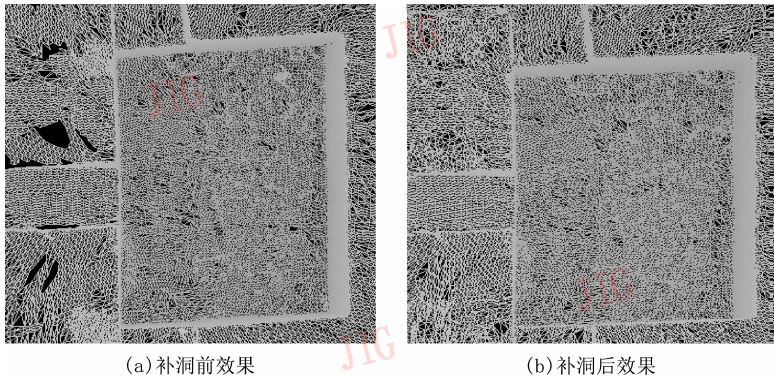


图6 补洞处理

Fig. 6 Deal with holes filling

图7是重建后的三星堆一号祭祀坑3维模型。从图可以看出,模型详细描述了祭祀坑的几何形状和内部细节。

据融合。以三星堆一号祭祀坑为例,给出了3维激光扫描技术大遗址数字化的工艺流程。

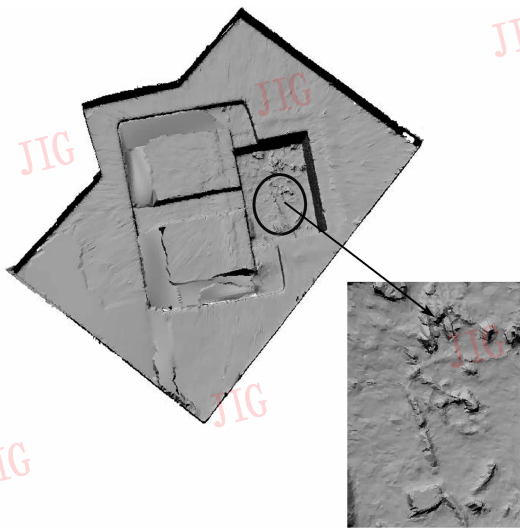


图7 3维模型

Fig. 7 3D model

5 结论

3维激光扫描技术在大遗址保护中起着至关重要的作用,它打破了传统的依靠文献记载及图片、照片的方式,直接采集遗址表面3维数据,同时与计算机视觉技术结合,可以准确地将纹理数据与激光数

参考文献 (References)

- 1 Ding Jun, Zhao Ze-ming, Chen Zu-jun. The application of close-range photogrammetry in an ancient tomb surveying[J]. Journal of Geotechnical Investigation & Surveying, 2002, (4): 54 ~ 56. [丁军, 赵明泽, 陈祖军. 利用近景摄影测量进行安丙家族墓文物考古测绘[J]. 工程勘察, 2002, (4): 54 ~ 56.]
- 2 RIEGL Technologies, Inc. 3D-Laser Mirror Scanner LMS-Z210 [EB/OL]. <http://www.rieglusa.com/>, 2001.
- 3 Zhang Ai-wu, Sun Wei-dong, Ge Cheng-hui, et al. Fast global registration of multiple 3D data sets from outdoor large [J]. Chinese High Technology Letters, 2004, 14(6): 6 ~ 13. [张爱武, 孙卫东, 葛成辉等. 室外大型场景多机位三维数据全局快速配准[J]. 高技术通讯, 2004, 14(6): 6 ~ 13.]
- 4 Stamos I, Leordeanu M. Automated feature-based range registration of urban scenes of large scale [A]. In: Proceedings of IEEE Computer Society on Computer Vision and Pattern Recognition [C], Madison, Wisconsin, USA, 2003, 2: 18 ~ 20.
- 5 Sequeira V, Wolfart E, Hogg D, et al. Automated reconstruction of 3D models from real environments [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 1999, 54(1): 1 ~ 22.
- 6 Hu Shao-xing, Cha Hong-bin, Zhang Ai-wu. Modeling method for large-scale cultural heritage sites and objects using real geometric data and real Texture data[J]. Journal of System Simulation, 2006, 4(9): 51 ~ 54. [胡少兴, 查红彬, 张爱武. 大型古文物真三维数字化方法[J]. 系统仿真学报, 2006, 4(9): 51 ~ 54.]