

# 基于激光点云的合浦汉墓出土陶屋三维重建

王道波<sup>1,2</sup>, 黄维<sup>3</sup>, 宋岩<sup>1</sup>, 文望名<sup>1</sup>

(1. 北京航空航天大学北海学院, 广西北海 536001; 2. 钦州学院 资源与环境学院, 广西 钦州 535000;  
3. 广西大学 农学院, 广西南宁 530005)

**摘要:**以 LMS-Z420i 三维激光扫描仪为例, 给出了一种扫描站点与反射片设计、激光雷达数据与数码相片的配准、数据采集和预处理的方法; 然后分别阐述 2 种不同类型的三维建模的方法: 其一为通过基于 MicroStation 的三维建模插件 Phidias 的规则建模方法, 另一种为基于 Geomagic 软件的三角网的建模方法; 最后以合浦汉墓出土的陶屋为例来实现, 给出 2 种建模方法获得的粘贴了纹理的模型。结果表明, 规则模型能很好的反映陶屋的结构与比例, 但不规则的模型能够很好的反映陶屋的现状。

**关键词:** 三维激光扫描仪; 激光雷达; 陶屋数字化; 文物建模

**中图分类号:** TP79; TN958.98 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-9102(2015)01-0092-05

## 3D modeling of unearthed pottery house from Hepu Han tomb based on LIDAR

Wang Daobo<sup>1,2</sup>, Huang Wei<sup>3</sup>, Song Yan<sup>1</sup>, Wen Wangming<sup>1</sup>

(1. Beihai College, Beihang University, Beihai 536001, China;  
2. School of Resources and Environment, Qinzhou University, Qinzhou 535000, China;  
3. School of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530005, China)

**Abstract:** Taken Riegl LMS-Z420i for instance, the site design of laser radar station and reflective pieces was introduced. Then, laser radar data and digital photo registration, data acquisition, data processing was given. After that, two method of 3D modeling were stated, one used the modeling method of 3D modeling software Phidias based on MicroStation; the other based on triangular mesh. At last, it took pottery house from Hepu Han tomb as an example, 3D model of pottery house was come true. The result showed, rule model reflect the structure and proportion of the pottery house well, but irregular model reflect the status of pottery house.

**Keywords:** 3D laser scanner; laser point cloud data; pottery house modeling; digital cultural modeling

合浦汉墓主要分布在广西合浦县城东南郊的丘陵地带, 总面积 68.87 km<sup>2</sup>。经勘察, 现存在封土堆能够直接认定的汉墓有 1 056 座, 封土堆已消失而隐蔽于地下的汉墓约有近万座。合浦汉墓出土的文物, 有青铜器、陶器、玉石器、玻璃器等, 但陶屋模型最具特色。因为汉代的建筑早已不复存在, 但出土的陶屋模型可以反映当年的建筑风格, 具有非常高的科研价值和鉴赏价值<sup>[1]</sup>。

三维激光扫描技术可以快速获取信息, 不但准确, 而且分辨率高, 同时不用直接接触文物, 在文物保护和考古发掘工作中得到广泛的应用<sup>[2]</sup>。该技术突破了传统的单点测量方法, 通过高速激光扫描测量, 大面积高分辨率地同步获取被测目标对象表面的三维坐标数据, 为快速建立文物数字化模型提供了一种全新的技术方法, 是合浦汉墓出土陶屋数字化的首选技术<sup>[3-4]</sup>。

## 1 三维激光扫描的原理

地面三维激光扫描系统主要有激光扫描仪、数码相机、笔记本电脑、蓄电池、逆变器等部分组成,不同厂家的产品略有不同.三维激光扫描系统一般采用仪器自定义的工程坐标,其中 $X$ 轴在横向扫描面内, $Y$ 轴在横向扫描面内与 $X$ 轴垂直, $Z$ 轴与横向扫描面垂直.三维激光扫描的工作原理为:发射器发出一个激光脉冲信号,经物体表面漫反射后,沿几乎相同的路径反向传回到接收器,根据其发射和接收的时间差,计算目标点与扫描仪的距离;控制编码器同步测量每个激光脉冲横向扫描角度观测值 $\alpha$ 和纵向扫描角度观测值 $\beta$ ,从而计算出目标点的工程坐标<sup>[5-8]</sup>.

## 2 数据的获取

### 2.1 采用的仪器

本研究采用 Riegl LMS - Z420i 三维激光扫描仪,该扫描仪是以反射镜进行垂直方向扫描,水平方向则以自动转动仪器来完成水平 360°扫描,从而获取三维点云数据.

### 2.2 数据获取的设计与实现

#### 2.2.1 数据获取准备工作

##### 1) 工作环境

陶器的保存要求温度为 14 ~ 24 °C,相对湿度为 40% ~ 55%,光照度 300 Lux,无酸性气体、防尘.鉴于陶屋属于稀缺型不可再生文物,且为了避免对游客的影响影响,本项目选择在周一闭馆日在博物馆内进行扫描,当日天气晴朗,工作时温度为 20 °C,相对湿度为 49%,使用光照度为 280 Lux 的 LED 灯取代闪光灯作为拍摄时光源.

##### 2) 连接方案设计

本次扫描设置了 9 个放射片,粘贴在每个扫描站点均可见的位置.公共反射片设置时主要注意以下问题:不同高度、不同方向均要粘贴反射片,反射片离扫描站点距离适中,反射片所在的平面相对于获取数据所在的坐标系 $Z$ 轴方向的角度适中<sup>[9]</sup>.

#### 2.2.2 仪器配准

##### 1) 粗扫全景并精扫反色片

首先在 RiSCAN\_PRO 软件中选择 360°全景粗扫描,耗时 1.5 min.自动搜索反射片,检查找到的反射片,手工剔除错误的点或增添漏选的反射片,然后对反射片进行精扫图.

##### 2) 数码相片的获取

采用 Riegl LMS - Z420i 三维激光扫描仪集成的 Nikon 数码相机,按照全景模式要求,每个扫描站点均需要拍摄 360°照片,为了保证相邻照片具有 15% 的重叠,拍摄 7 张照片.

##### 3) 数码照片与激光点云数据的配准

数码照片与激光点云数据的配准在软件 RiSCAN\_PRO 中实现.进行数据采集时扫描仪和数码相机是采用的 2 个不同坐标系,而在建模时要把数码相片上的纹理贴到点云三角化所得面片上,要保证模型上每一点的三维信息和纹理信息一致,因此需要计算出 2 个坐标系之间的变换关系,校准的工作正是计算这种变换关系<sup>[10-11]</sup>.在计算校准矩阵时,先分别在点云图和数码相片中找出一一对应的反射体,然后把它们的坐标输入到 RiSCAN\_PRO 软件中,再由软件自动计算出校准矩阵,见图 1.

#### 2.2.3 数据获取

##### 1) 三维激光数据的获取

用三维激光扫描仪对陶屋模型进行全面扫描,得到陶屋不同视点的三维点云模型.扫描点的选择原则有 2 个:首先要保证从选取的扫描点能获得完整的数据,其次为用尽量少的扫描站点,以减少外业工作量、配准工作量和减少实验的误差.为了更精确地表示陶屋,本项目设置 3 个扫描站来对对不同视点的陶屋数据进行扫描,基本做到不留盲点.

##### 2) 数码相片的获取

数码相片的获取方法同仪器配准中数码相片的获取方法.

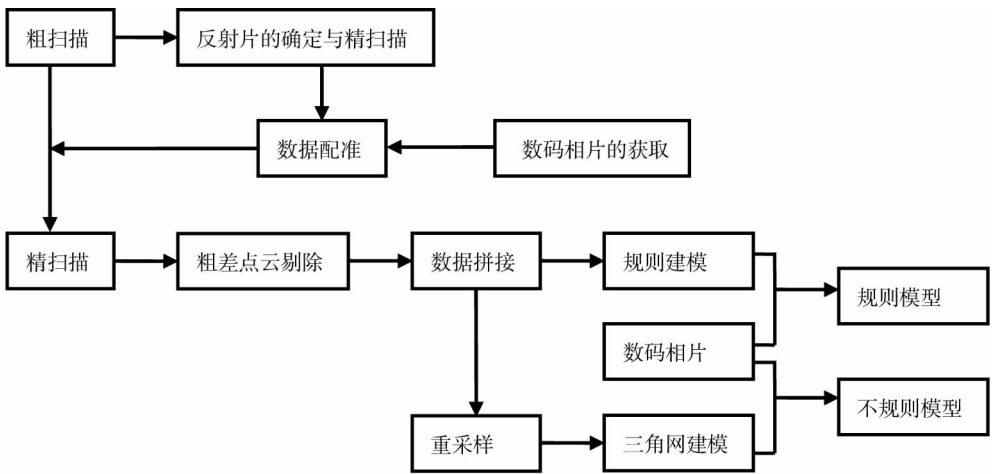


图1 数据处理流程图

### 3 激光点云数据处理

#### 3.1 数据预处理

##### 3.1.1 粗差点云数据的剔除

原始点云数据中存在的粗差、错误和无关信息,在系统自带的 RiSCAN\_PRO 软件中,通过人工交互操作,实现粗差的剔除、与目标对象无关信息的剔除,系统性误差数据的弥补及修正。

##### 3.1.2 不同扫描站点数据的拼接

地面激光雷达直接输出的数据信息是基于该摄站坐标体系的工程坐标数据,为获得研究对象的整体三维模型,不同视角获取的点云数据借助于反射片进行拼接,将不同摄站的点云数据合并到统一的坐标系中。

##### 3.1.3 激光点云数据的重采样

采用曲面重采样,即对同质区域的合并,对曲面保留更多的数据.采用该方法,可根据对象的实际情况自适应变化,不但数据得到简化,而且能有效保留有用的特征信息<sup>[12-14]</sup>。

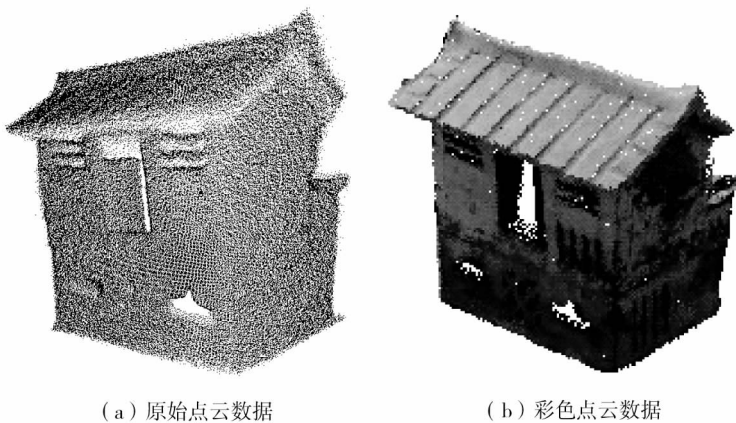


图2 合浦汉墓出土陶屋激光点云数据

#### 3.2 规则模型的建立

##### 3.2.1 采用的软件

采用基于 MicroStation 的三维建模插件 Phidias 来实现建模. Phidias 软件是基于 MicroStation 软件开发的一个插件,能够实现照片建模、激光点云建模、照片与激光点云配准后配合建模等功能,是 MicroStation 软件功能的扩展和延续。

##### 3.2.2 三维模型的建立与纹理粘贴

借助 MicroStation 软件的一些 3D 功能, Phidias 软件很容易实现三维面和体的建模. 建模以后,在

MicroStation 软件中即可实现纹理粘贴。

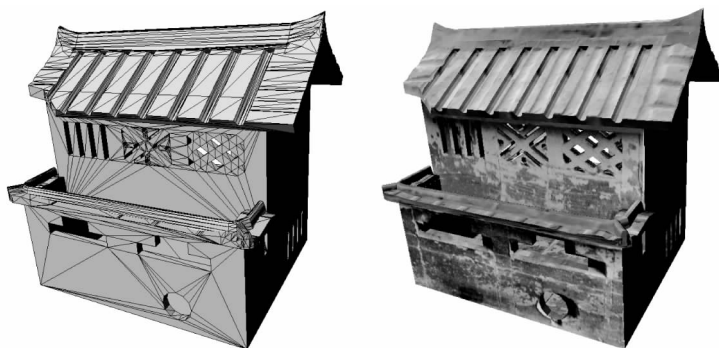


图3 合浦汉墓出土陶屋规则建模

### 3.3 光滑模型的建立

#### 3.3.1 三角网的构建

三维激光扫描仪所得到的点云数据,是空间不规则的离散点,点云之间没有联系,可以通过构建三角网来恢复建筑物表面的这种拓扑关系。

#### 3.3.2 三角网的曲面拟合

三维激光点云为海量数据,三角网构建时,容易产生冗余数据。由于点云过多,生成上百个三角网,甚至上千个。点云越密,采样间隔越小,三角网就越多,越容易造成数据冗余,所以要对三角网模型进行简化。

#### 3.3.3 光滑模型的调整与完善

在三维激光扫描仪采集目标点云时,由于遮挡、系统误差、重采样误差等因素影响,导致采集的数据不完整,造成一些数据空洞(例如如图4的左图),在构建光滑模型时,这些空洞无法构建三角网,形成空洞,要根据陶屋表面特征来进行补充数据,最终形成较为完整的模型。Geomagic 软件具有智能数据补充优势,使边缘缺陷、内部缺失等不同类型的的问题都容易填补。

#### 3.3.4 光滑模型的纹理粘贴

纹理粘贴的效果,主要取决于特选取相对应的征点,即数码照片上和三维模型上相对应的点,很据模型的复杂程度,一般选择10个以上的点。特征点选择应当在不同的平面内,分布均匀,易于区别<sup>[15]</sup>。

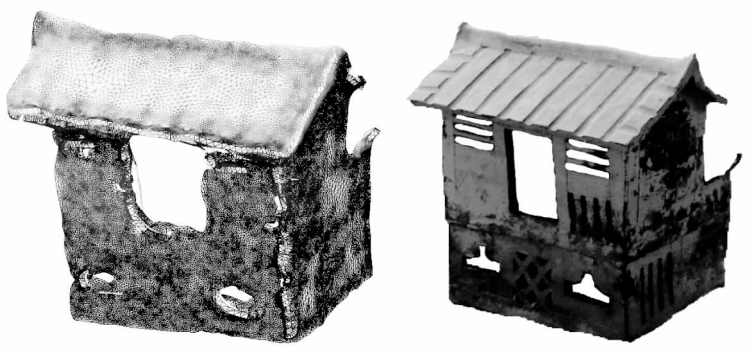


图4 合浦汉墓出土陶屋三角网建模

## 4 讨论

### 4.1 陶屋模型的精度分析

完成陶屋三维曲面建模后,分别在 Microstation 和 Geomagic 软件中对规则建模获得的模型和光滑模型进行曲面分析。通过将原始激光点云数据与所拟合的陶屋曲面进行对比分析:

- 1) 最大误差:规则建模中陶屋表面误差最大处达到 3.3 mm,而光滑模型的误差最大处为 2.1 mm;
- 2) 平均误差:规则建模中陶屋表面平均误差为 1.8 mm,而光滑模型的平均误差为 1.1 mm。

相对于陶屋整体尺寸来说,2种模型的精度均属于可控误差范围之内。对于光滑模型来说,陶屋表面质量最差的地方发生在拐角的地方,而规则模型误差最大的地方发生在结构复杂处和曲面过渡结合处。

同时,扫描的时间和一些周围环境,以及激光扫描仪的本身也对扫描的结果产生一定的影响,存在系统误差.

#### 4.2 2种建模方法重建结果的对比

从构图元素上来说,基于 Microstation 的 Phidas 建模获得的规则模型是以多边形为基础的,这种线框模型的数据量小,建模时必须逐一完成,工作量大,但完成以后编辑的速度快.对于陶屋来说,该模型很好的把陶屋的转角等地方表达出来,但无法精度体现陶屋变形的变形,需要结合纹理信息,通过人类想象、理解后才能获得真实情况.这种理解还受到纹理原始照片获取时光线方向等因素的影响.同时,陶屋模型的轮廓线很规则,无曲面,真实感欠缺.

Geomagic 软件可根据物体扫描所得的点阵模型创建出良好的多边形模型或网格模型,并将它们转换为曲面同时,采用的点云数据的采样精简算法,克服了对点云数据操作时,软件进行图形的拓扑运算速度慢、显示慢等弊端.与规则模型相比,光滑模型的数据量仍然大很多,不过精度更高,较好的反映了实际情况.虽然光滑模型容易受到原始激光点云数据造成的系统误差的影响,有所偏移,但模型更好的反映了实际情况,优势明显.

## 5 结论

采用 Riegl LMS - Z420i 三维激光扫描仪,充分利用了2种传感器数据的优势,同时获取激光点云与数码影像数据,从而获得高精度的彩色激光点云;以此建立了视觉效果很好的规则陶屋模型和三角网表面纹理图形,为合浦汉墓出土陶屋的三维重建提供了很好的方法.研究表明,针对合浦汉墓出土陶屋的特点,本文的三维重建方法是可行而有效的,规则模型能很好的反映陶屋的结构与比例,但不规则的模型能够很好的反映陶屋的现状.同时,本文提出的方法不仅适用于陶屋这类体积小、纹理丰富、非透射、无遮挡的文物,对大型文物,例如云冈石窟,长城的老龙头的三维重建同样适用.随着地面三维激光雷达技术的深入研究和在文物中的推广应用,三维建模技术在文物中的应用中也将发挥越来越重要的作用.

#### 参考文献:

- [1] 黄维,王道波,叶吉旺.广西合浦汉墓出土建筑模型生态分析[J].广西大学学报(哲学社会科学版),2012,34(增):119-121.
- [2] 吴玉涵,周明全.三维扫描技术在文物保护中的应用[J].计算机技术与发展,2009,19(9):173-176.
- [3] 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,2006,18(4):951-954,963.
- [4] 罗小华.基于三维激光扫描技术的古建筑测绘[J].四川建筑,2009,29(6):217-218.
- [5] 王婷.文物真三维数字建模技术在秦始皇兵马俑博物馆中的应用——以一号坑陶俑为例[J].文物保护与考古科学,2012,24(4):103-108.
- [6] 王莫.三维激光扫描技术在故宫古建筑修缮工程中的应用研究[J].世界建筑,2010(9):146-147.
- [7] 孙德鸿,刘世哈,刘丽惠.三维激光扫描在岩画保护中的应用[J].测绘通报,2011(1):35-37.
- [8] 黄慧敏,王晏民,胡春梅,等.地面激光雷达技术在故宫保和殿数字化测绘中的应用[J].北京建筑工程学院学报,2012,28(3):33-38.
- [9] 廖丽琼,罗德安.地面激光雷达的数据处理及其精度分析[J].四川测绘,2004,27(4):153-155.
- [10] 王晏民,胡春梅.一种地面激光雷达点云与纹理影像稳健配准方法[J].测绘学报,2012,41(2):266-272.
- [11] 王晓南,郑顺义.基于激光扫描和高分辨率影像的文物三维重建[J].测绘工程,2009,18(6):53-55,60.
- [12] 李必军,方志祥,任娟.从激光扫描数据中进行建筑物特征提取研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2003,28(1):65-70.
- [13] 丁延辉,邱冬炜,王凤利,等.基于地面三维激光扫描数据的建筑物三维模型重建[J].测绘通报,2010(3):55-57.
- [14] 贾东峰,程效军.三维激光扫描技术在建筑物建模上的应用[J].河南科学,2009,27(9):1111-1114.
- [15] 万慧玲.双墩文化遗址的3D建模技术与虚拟现实还原展示探讨[J].长治学院学报,2013,30(1):12-15.