

文章编号: 1000-1190(2013)01-0141-04

古建筑监测与保护三维信息管理系统研究 ——以佛香阁数据管理为例

李 奇^{1*}, 周 伟¹, 李 畅²

(1. 联合国教科文组织 国际自然与文化遗产空间技术中心, 中国科学院 对地观测与数字地球科学中心, 北京 100094)

(2. 华中师范大学 城市与环境科学学院, 武汉 430079)

摘 要: 通过以颐和园佛香阁的激光扫描点云数据为基础, 建立佛香阁的三维模型, 以三维立体的方式来记录佛香阁及其构件的详细属性信息. 通过建立文物的三维模型数据库及图片档案资料库, 保存文物原有的各项型式数据和空间关系等重要资源, 实现濒危文物资源的科学、高精度和永久的保存.

关键词: 文物监测; 激光扫描; 三维建模; LOD; 信息管理系统

中图分类号: TN948. 61; O343. 2

文献标识码: A

古建筑作为历史文明的实物见证, 记载着一个国家和民族特定时期的政治、经济、文化的发展过程, 具有不可争辩的说服力和不容置疑的真实性. 但是, 随着时间的流逝、自然灾害和人类活动的影响, 古建筑不断遭到破坏, 如何采用新技术、新手段记录、留存古建筑的真实历史信息, 为古建筑的监测、保护和修复提供详实依据已经成为迫在眉睫的全球性问题. 近景摄影测量和三维激光雷达扫描技术的相继出现, 使古建筑测绘领域发生了历史性的变革, 大大提高了古建筑信息采集和记录的自动化程度. 近年来, 随着科学技术的发展, 国内外很多城市的文物保护单位以计算机技术、三维数据采集技术、数据库技术、虚拟现实技术等多种技术手段建立了文物三维可视化为核心的三维 GIS 应用系统, 针对复杂古建筑的精细建模、数据组织和建筑结构数字化表达等关键技术问题的解决方案深入探寻, 摸索建立精细化的监测保护体系, 使国家文物保护由粗放到精细过渡.

1 系统总体框架

本系统以颐和园佛香阁为研究对象, 系统总体架构分别为数据层、服务组件层和应用层.

数据层包括三维数据管理系统和三维地理信息数据库. 其中三维数据管理系统制定三维数据相

关标准, 包括三维数据制作与编辑、建模标准、数据质量控制、数据分类等. 通过三维数据管理系统对三维地理信息数据库进行管理, 实现对三维数据的入库、维护、更新. 本软件采用了 MySQL(中、小型关系型数据库管理系统)存储管理三维数据、影像数据、图片资源数据等多源数据.

服务组件层主要是在数据库层基础上, 为数据管理、数据查询分析、数据传输和系统配置管理提供组件化服务, 保障整个系统能够为客户端应用访问提供安全、稳定的支撑.

在服务层之上, 针对古建筑监测与保护三维信息应用需求, 通过数据服务接口实现相应的业务应用系统. 图 1 为本系统的总体框架.

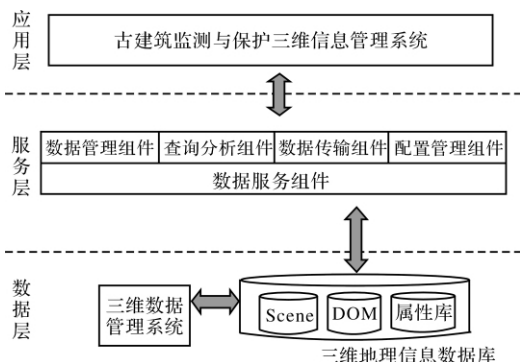


图 1 系统总体框架

Fig. 1 General framework of the system

收稿日期: 2012-01-20.

基金项目: 国家自然科学基金项目(41001204; 41101407); 国家文物局文物保护科学和技术研究课题(20100306).

* E-mail: qli@ceode. ac. cn.

2 复杂古建筑三维数据分层管理

无论是地形还是模型场景的表现都需要解决实时的数据调度及显示问题,在同等硬件资源且不影响表现效果的前提下如何加速图形生成,首先需要解决复杂图形的简化问题.由于场景中不同模型实体的空间位置不同,人眼可识别的模型精细程度会有差异,正确利用这种细致差异来简化显示模型及其纹理,可以加快数据调度、保障实时效果.层次细节模型(LOD)技术是当前三维图形加速应用的主要方法,分为静态 LOD 技术和动态 LOD 技术.静态 LOD 技术是通过事先预处理生成离散的几个不同细节层次模型,实时显示时根据预先设定的简化标准加载合适的细节层次模型来表达三维物体;动态 LOD 技术则是通过 LOD 算法动态生成细节层次模型数据结构,并在实时显示时提取所需的细节层次模型数据,因而动态 LOD 可以获得连续变化的细节层次模型,当然需要占用和消耗更多的资源为代价.目前,大多数 LOD 算法主要是针对几何模型的简化,特别是对连续的自由曲面,如用正方形格网数字高程模型表示的地形表面的简化技术已经比较成熟.然而,对复杂古建筑等不规则几何体及其相应的表面属性如纹理等的简化处理仍然有很多问题需要解决.

建立 LOD 模型的关键问题之一是要确定合理的细节层次内容.细节层次内容包括细节层次,以及各个细节层次的精细程度和建模方法等.

3 LOD 模型的细节层次规划方法

建立多个细节层次可以保证相邻层次间的差别不大,层次切换不会有明显的突变.如果层次太多也会导致频繁地读取不同细节层次模型数据,影响实时绘制的流畅性;如果细节层次太少,层次间明显的差异会导致层次切换有明显的突变现象,因此确定合理的多细节层次数目成为首要任务之一.

佛香阁是一座高约 37m 的宗教古建筑,平面为八角形,外檐四层内檐三层,以八根坚硬的大铁梨木为擎天柱,四层檐两平座,八脊攒尖顶,六样黄琉璃瓦绿剪边瓦面,镏金宝顶,檐下一层、二层、三层五踩单翘单昂斗拱,四层七踩单翘重昂斗拱,挂檐下一层、二层平座四踩品字斗拱,一层井字团龙天花,二层井字金凤天花,三层井字五福捧寿天花,梁枋绘金龙和玺彩画,建筑面积共约 1 438m².佛香阁建筑结构复杂且体量巨大,将其三维模型规划为 3 个细节层次,每个细节层次的作用范围与建筑

物的大小和复杂程度一致.

1) 当视点接近或者进入建筑物内部,如距离模型 8 m 以内时,建筑物的表达属于最精细层次 LOD1.

2) 当视点近距离接近建筑物时,如相距 8 m 至 18 m 之间时,场景的表达属于精细层次 LOD2.该细节层次将简化脊兽等通过手持激光扫描仪建模的三维模型,室内场景也将略微简化.

3) 由于佛香阁高约 37 m、宽约 30 m,将 18 m 至 40 m 的视距范围作为第三细节层次 LOD3 的作用区域,40 m 以外可以采用最粗略的模型表达.

4 确定细节层次的精细程度

由于人眼无法察觉小于一个像素的屏幕误差,因此,将产生一个像素误差的模型误差作为细节层次模型的精细程度,定量地将各个细节层次模型误差控制在视觉允许的范围之内.

4.1 模型精度和屏幕误差

如图 2 所示,物体和视锥体中心线垂直,并且同其竖直边平行时,产生最大屏幕误差,以该状态作为计算条件.物体高度为 h ,视点距离投影面为 d ,视点距离物体为 D ,物体在投影面上的长度为 x ,视锥角为 θ .根据几何关系可知, $x = dh/D$,整个投影面的长度 $L = \tan(\frac{\theta}{2}) \times 2d$,屏幕的竖直边的最大像素数为 P ,可以根据比例关系计算得到物体在屏幕上占据的像素数 $p = hP/(2D \tan \frac{\theta}{2})$.

由于屏幕误差应该保持在一个像素以内,三维城市模型点误差 h 应当满足如下条件: $h < 2D \cdot$

$\tan \frac{\theta}{2} / p$. 这里, D 为该细节层次范围的最小距离, p 为绘制窗口竖直方向的像素数.根据实际经验发现,由于变形方向往往不与投影面平行,模型精度降低一倍,视觉效果也不会有明显变化,因此,多细节层次的三维城市模型的建模精度应该符合如下条件: $h < (4D \tan \frac{\theta}{2}) / p$.

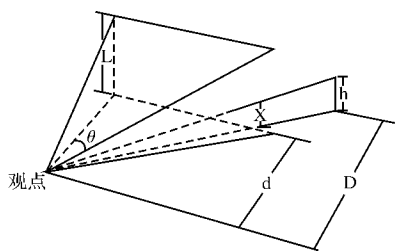


图 2 视锥体透视图

Fig. 2 Perspective view of the frustum

4.2 细节层次的模型精度

为指导数据的多细节层次生产,需严格规定细节层次的精细程度,否则模型精度差异较大,将严重影响三维可视化的应用. 建筑物的各个细节层次的标准如下.

(1) LOD1 严格在激光点云数据上量取建筑物尺寸,依据真实尺寸绘制建筑现状图纸,最后按照图纸进行建模. 如图 3 所示. LOD1 完全重现建筑物的形状和风格,满足超近距离观察和室内浏览的需要.

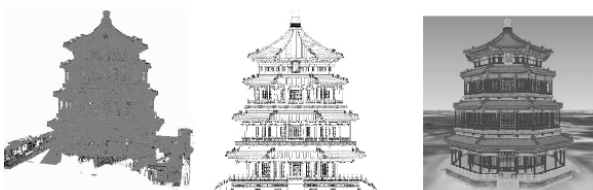


图 3 建模过程

Fig. 3 The procedure of modeling

(2) LOD2 简化 LOD1 的脊兽等通过手持激光扫描仪建模的三维模型,略微减少室内被遮挡的模型构件,室外表面模型不作任何变动.

(3) 在 LOD2 的基础上简化得到 LOD3,调整 LOD2 中室外模型的精细程度,减少室内模型构件.

由于佛香阁建筑结构复杂且通过激光点云数据建模而成,如模型简化过大将表现不出这座精细古建筑的神韵. 为了使模型变化的连续性及精细度流畅,在系统中采用了根据建筑结构对古建筑分层次管理,并将古建筑的每个构件进行单独管理. 将模型数据采用 LOD 技术和建筑结构分层管理两种方式使其能在各个尺度流畅显示. 图 4 为模型分层显示,图 5 为同类型单体构件显示.

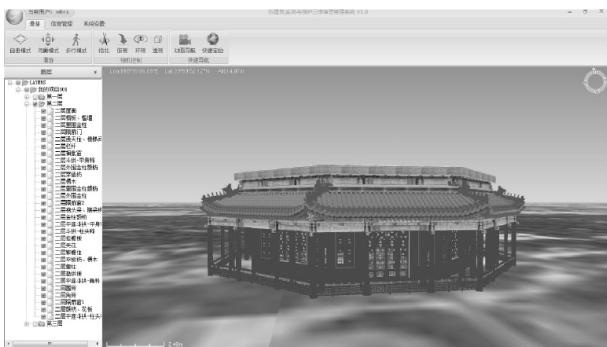


图 4 佛香阁二层模型

Fig. 4 Model for the first two floors of Buddhist Incense Tower



图 5 佛香阁构件分层

Fig. 5 Layers of the components of Buddhist Incense Tower

由表 1 可知,当视点落入单层视域范围,单层 LOD1 最大构面数与 LOD3 总的构面数基本一致,在对单层古建筑构件进行浏览时能够满足近距离流畅可视化的需要,可快速选择并输入构件相关信息.

表 1 LOD 层次表

Tab. 1 Layers of LOD

LOD 层次	佛香阁分层	构面个数/ 10^6	构面总数/ 10^6
LOD1	一层	5.9	17.6
	二层	4.2	
	三层	7.5	
LOD2	一层	3.5	12
	二层	2.9	
	三层	5.6	
LOD3	一层	2.0	7.3
	二层	2.1	
	三层	3.2	

5 古建筑监测与保护

系统实现构件维修资料管理,可对每次记录的维修资料,例如文字、图片或者视频进行入库管理. 图 6 所示,佛香阁的所有维修信息将以时间顺序记录进数据库.



图 6 构件维修资料管理模块

Fig. 6 The document management model for component maintenance

6 结论

本系统提供可视化的管理方式,改变传统古建筑文物以历史文献监测记录管理方式,实现了三维、图文一体化的电子管理新模式,使文物管理更加直观.精细化文物保护与监测将是世界遗产保护科学化管理的重要发展方向,古建筑监测与保护三维信息管理系统将综合运用遥感、地理信息系统、三维仿真、数据库、网络及多媒体等技术,建立文物三维立体空间数据库,对古建筑数据保护和研究等方面有着非常重要的价值.

参考文献:

- [1] 王之卓. 摄影测量原理[M]. 北京:测绘出版社,1979.
- [2] 李德仁,郑肇保. 解析摄影测量[M]. 北京:测绘出版社,1992.
- [3] 王永波,盛业华,闫国年. 自适应视相关 LOD 模型的动态构建及其更新[J]. 中国矿业大学学报,2008,37(5):658-663.
- [4] 朱 庆,龚 俊. 三维城市模型的多细节层次描述方法[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2005,30(11):965-969.
- [5] Clark J. Hierarchical geometric models for visible surface algorithms[J]. Communications of the ACM,1976,19(10):547-554.
- [6] Hoppe H. View-dependent refinement of progressive meshes [C]//Whitted T. Siggraph 97 Conference Proceedings. New York:Addison Wesley,1997:189-198.

A study on the 3D information management system for monitoring and preserving historic buildings

——a case of the data management of Buddhist Incense Tower

LI Qi¹, ZHOU Wei¹, LI Chang²

- (1. International Centre on Space Technologies for Natural and Cultural Heritage under the Auspices of UNESCO, Center for Earth Observation and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094;
2. School of Urban and Environmental Science, Huazhong Normal University, Wuhan 430079)

Abstract: Based on the cloud data collected for Buddhist Incense Tower in the Summer Palace by applying laser scanning technologies, this paper builds a 3D model for the Buddhist Incense, Tower to three-dimensionally record the detail properties of the tower and its components. It turns out that building the database of 3D models and picture archives help to preserve the original data of cultural heritages, including the spatial relationship information and other important types of data, which can contribute to the scientific, accurate and permanent protection of endangered cultural relics.

Key words: monitoring of cultural relic; laser scanning; 3D modeling; LOD; Information Management System