

# Museum Collections Digitalization and Management Based on Reverse Engineering

Hong Ji, Tao Shen

Virtual Reality Division, Beijing Computing Center, Beijing  
Email: jihong@bcc.ac.com, shentao@bcc.ac.com

Received: Jun. 18th, 2012; revised: Jul. 3rd, 2012; accepted: Jul. 12th, 2012

**Abstract:** As the increasing attention to museum information, museum collection digitalization plays more and more important role in digital museum management. A solution museum collection digitalization and its management based on reverse engineering proposed in this paper can meet the industrial application accuracy. The work flow of reverse engineering of museum collections is as follow: 3D scanning of museum collections, correction and revising the point cloud data, the digital model with digital dynamic label. As the application results shown, the method presented by this paper can accurately exhibit museum collections' 3D surface information.

**Keywords:** Reverse Engineering; Digital Museum

## 基于逆向工程的博物馆藏品数字化及其管理

季红, 沈涛

北京市计算中心虚拟现实事业部, 北京  
Email: jihong@bcc.ac.com, shentao@bcc.ac.com

收稿日期: 2012年6月18日; 修回日期: 2012年7月3日; 录用日期: 2012年7月12日

**摘要:** 随着人们对博物馆信息的不断重视, 博物馆藏品的数字化在建立数字博物馆的工作中显得越来越重要。本文将可以达到工业应用精确度的逆向工程有关技术应用于数字博物馆建设与管理, 提出了基于逆向工程的博物馆藏品数字化及其管理方案。其基本实施流程为: 对藏品进行三维扫描, 对扫描后的点云数据进行处理和修正, 对数字藏品模型添加进行分类保存。实现的效果证明, 该方法可以精确数字化重现博物馆藏品三维表面信息。

**关键词:** 逆向工程; 数字博物馆

### 1. 引言

在我国文化事业的迅速发展的大背景下, 数字博物馆的研究如雨后春笋般蓬勃发展。博物馆具有馆藏物品的展示, 收藏和科学研究等社会功能<sup>[1]</sup>。因此, 在建立数字博物馆的工作中, 实现藏品信息的数字化成为建立数字博物馆最为重要的工作之一。不同于博物馆的虚拟展示, 数字化藏品要求数据精确完整, 且尽可能重现原馆藏物品外形几何信息和表面彩色纹理

信息; 管理上要求便于藏品的检索、信息标注和信息追加。目前, 数字博物馆的藏品展示多采用文字、影像方式或通过人工建模方式<sup>[2,3]</sup>, 并不能完整和精确的还原藏品的信息。在信息技术中, 逆向工程是一种已经广泛应用于工业制造技术, 可以实现实物物体高精度信息化, 进而重现产品外形并进行数据分析<sup>[4]</sup>。将逆向工程运用于博物馆藏品的数字化中, 就可以达到高精度还原藏品外形几何信息及表面纹理信息的目的。

图 1 是故宫博物院的虚拟博物馆展示, 虽然是人工绘画的效果图, 但也能达到较好的展示效果。图 2 是大卫石膏雕像扫描实物照片; 图 3 是大卫石膏雕像数字化重构效果图, 其中(a)是模型的数字化模型效果图, (b)是彩色三维数字扫描仪扫描的包含表面彩色纹理信息的数字化模型效果图。



Figure 1. Virtual museum exhibition of the national palace museum<sup>[5]</sup>  
图 1. 故宫博物院的虚拟博物馆展示<sup>[5]</sup>



Figure 2. The real object of David plaster statue photo  
图 2. 大卫石膏雕像实物照片

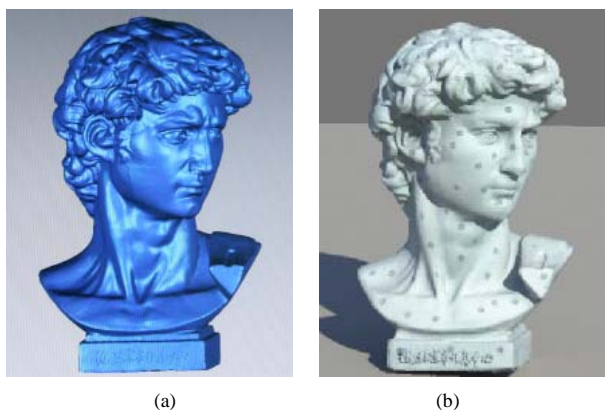


Figure 3. The digital model of David plaster statue: (a) The digital model of David plaster statue; (b) The restoration surface texture model of David plaster statue  
图 3. 大卫石膏雕像数字化模型: (a) 大卫石膏雕像数字化模型; (b) 大卫石膏雕像表面纹理复原模型

显然通过扫描后, 重构的数字化模型更能真实的展示实物的外表构造信息。本文提出的基于逆向工程的博物馆藏品数字化及其管理, 采用工业中的逆向工程方法对藏品进行数字化处理, 可以高精度全方面还原数字化藏品的三维信息, 提高了数字博物馆藏品展示的精确度和真实性。最后对数字化藏品的数据整理、加工后分级输出, 以满足不同需求, 从而优化了数字博物馆藏品数据的个性化服务。

## 2. 博物馆藏品信息的特点与逆向工程及其特点

### 2.1. 博物馆藏品信息的特点

博物馆的基本职能包括展示功能, 以及藏品收集的管理和传播<sup>[1]</sup>。因此, 建立数字藏品不仅仅是简单的博物馆藏品实体数字虚拟展示, 还应该包括博物馆藏品的其他资源的数字化。在藏品的展示中, 按照不同种类博物馆具有不同种类的展示藏品, 例如艺术博物馆的藏品有图像、雕塑, 以及藏品说明; 科学博物馆的藏品有标本、机械模型、影像资料等等。从藏品的视觉展示维度划分, 可分为二维平面实体展示和三维立体实体的展示; 按照藏品的作用划分, 可分为观赏作用和科学研究作用<sup>[2]</sup>。因此, 从数据保存和输出需求的角度分析, 数字化藏品的具有不同的精确度要求, 且不同的藏品具有不同的数字化藏品信息标签。

### 2.2. 逆向工程及其特点

逆向工程技术(Reverse Engineering, RE)是根据已有的产品或零件原型构造产品或零件的工程设计模型, 并在此基础上对已有的产品进行剖析、理解和改进, 是对已有设计的再设计, 本质上是一个“认识原型 - 再现原型 - 超越原型”的过程<sup>[6]</sup>。逆向工程在汽车、飞机、船舶制造行业的设计制造中具有相当重要的地位, 相对于普通的设计制造过程, 逆向工程节约了大量物质成本, 缩短了设计制作的工期, 大大提高了产品设计的效率, 加强了产品设计制造的可继承性<sup>[4]</sup>。也就是说, 逆向工程的技术的特点是实现较高精确度的实体数据重现, 以及可以对这些数据的分析处理和应用修改。

因此, 将逆向工程应用于建立数字博物馆, 可以精确有效对博物馆藏品实体进行数字化, 从而真实再

现数字博物馆的藏品展示，以及对数字化藏品数据进行测量分析。

### 3. 逆向工程在建立数字博物馆的实现

逆向工程的总体实施流程可以概括为从实体建立数据，再到实体；主要步骤包括实体数据采集、实体模型数字化及其加工，以及实体输出三大部分，图 4 是基于逆向工程的博物馆藏品扫描与模型管理流程。

#### 3.1. 藏品实体的数据采集

进行藏品数据的采集需要三维扫描仪，现在主流的三维数字扫描仪按操作方式可以分为机架式和手持式两大类，手持式三维扫描仪主要适用于小型物体扫描，机架式三维扫描仪主要适用于大型建筑物扫描；功能上可分为彩色三维扫描仪和非彩色三维扫描仪，非彩色的三维数字扫描仪只能采集扫描实体的三维位置信息，而彩色三维数字扫描仪可以同时采集扫描实体的三维位置信息和实体表面的色彩信息。图 5 所示为 FARO PHOTON LASER 三维数字扫描仪，该扫描仪为机座式扫描仪，扫描距离最长 153 米，频率每秒 976,000 点。由于藏品体积较大(如图 6)，本文以 FARO PHOTON LASER 三维数字扫描仪对北京市自然博物馆藏品马门溪龙数字化处理为例，说明逆向工程在藏品数字化应用的实施流程。

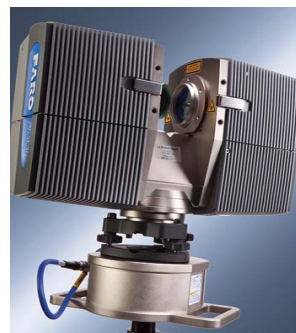


Figure 5. FARO PHOTON LASER 3D VIU scanner  
图 5. FARO PHOTON LASER 三维数字扫描仪



Figure 6. The Mamenxi Dinosaur fossils in Beijing natural museum  
图 6. 北京市自然博物馆场馆中展出的马门溪龙化石

FARO PHOTON LASER 三维数字扫描仪在数字化扫描，首先是对扫描仪选择正确的扫描点选定，扫描仪的位置要尽可能可以扫描到藏品的各个部位。进行北京市自然博物馆马门溪龙扫描，分别在马门溪龙肋骨的两侧进行定点扫描。扫描仪对藏品扫描后得到的是点云数据。点云是在同一坐标系下具有一定空间位置信息大量离散的点的集合。使用三维数字扫描仪对藏品扫描后，得到的是一系列记录藏品表面形状信息的点云数据。这里将三维数字扫描仪扫描藏品后得到的点云称为原始点云数据。

#### 3.2. 藏品实体数据化及其加工

##### 3.2.1. 点云数据修正与处理、模型重构

完成藏品实体扫描的过程后，需要对扫描实体得到的原始点云数据进行处理。实现藏品外形的数据化，包括三项工作：去除较大误差的点，进行数据的拼接，以及进行曲面拟合。这些步骤可以在逆向工程专用的软件中完成的，常用的逆向工程软件有 Image Waresurfacers, Geomagic, COPY CAD, Unigraphics NX, Pro Engineer, CATIA, ALIAS 软件等。

本文以使用 Geomagic 对北京市自然馆的马门溪龙骨化石的藏品进行逆向工程为例，说明用逆向工

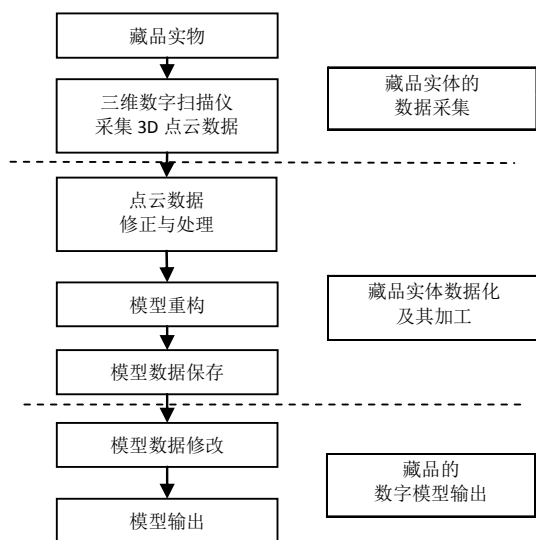


Figure 4. The implementations processes of museum collections 3D scanning and its data management based on reverse engineering  
图 4. 基于逆向工程的博物馆藏品扫描与模型管理实施流程

程对数字博物馆藏品点云模型建立的操作过程。Geomagic Studio 是一款具有强大建模功能的专业逆向工程软件,支持多重三维数据输出格式,内含强大的点云处理功能模块,支持快速曲面造型方式建模,利用该模块的数据处理相关工具,可以大大提高藏品数字化的效率<sup>[7]</sup>。图 6 为北京市自然博物馆场馆中展出的马门溪龙化石实体,由于藏品本身体积较大,需要扫描多次,采集点云数据。三维扫描时每一次对实体扫描均可以得到一组点云数据,拼接点云数据就是把每次扫描采集的点云数据合并到一个场景中,从而实现重构藏品点云模型。在 Geomagic Studio 12 中,在点云模块下选择要合并的点,点击合并点对象,即一次点云的拼接(图 7)<sup>[8]</sup>。

拼接过程中,可能由于扫描不完整产生孔洞。较大的孔洞需要对模型重新采样数据,再合并到点云模型中进行孔洞填补。

受扫描设备和环境因素的影响,扫描以后得到的点云数据存在大量的无用点,这些无用点会干扰后继工作的展开,所以在进行曲面重构之前首先要把这些杂点去除。杂点去除可以使用 Geomagic Studio 12 下点模块修改的选择体外孤点和非连接项,设置合适参数后删除。去除杂点后,开始点云数据拼接。被扫描物体表面结构越不规则,则得到点云数据越不规则,越容易产生孔洞;藏品体积越大,得到的数据量越大,扫描的时间越长。

异于工业产品一般具有较规则平滑的特点,骨骼本身表面存在许多细微不规则结构,点云模型建立的过程中经常需要扫描和拼接交替进行,以填充扫描孔洞和完整化模型数据场。完成数据处理后,利用 Geomagic Studio 12 点模块下的封装,将点云数据转化为三角面模型,完成点云模型建立。可以利用逆向工程的软件将点云数据拟合为平滑曲面,至此完成藏品的模型数字化过程(如图 8)。

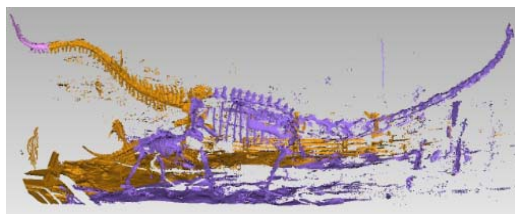


Figure 7. The original point cloud data of Mamenxi Dinosaur by 3D scanner  
图 7. 马门溪龙三维扫描原始点云数据

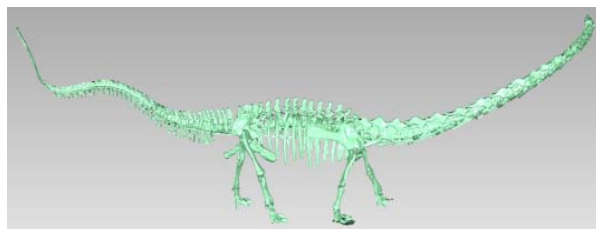


Figure 8. The digital Mamenxi Dinosaur model after point cloud surface fitting  
图 8. 经曲面拟合后的马门溪龙数字模型

### 3.2.2. 藏品数据保存

完成藏品模型数字化后需对藏品进行数据保存工作,这是数字化博物馆藏品管理的基础<sup>[9]</sup>。为了对藏品进行有效的管理,首先需要根给藏品的不同类型及不同的数据应用分别建立多维动态数字标签。藏品的数字标签是对数字产品的信息进行分类管理和概括的数字化标识的依据,方便对模型的分类存放管理、检索和维护的工作,也可作为藏品检索的关键词使用。

用向量  $\lambda(r_n, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_{m_n})$  表示藏品的动态数字标签,其中  $n = 1, 2, \dots; m_n = 1, 2, \dots; r_n$  表示藏品所属领域,  $\alpha_{m_n}$  表示该领域下藏品划分的表示。藏品首先按照所属的领域不同进行分类,根据类型不同,数字标签的建立方式也随之改变,即  $m_n = f(n)$ , 且  $m_n$  为正整数。比如,藏品属于动植物标本,则该藏品的信息可以包括标本生产地点、时间,年代等等。这样相同类型的藏品具有相同标准的动态数字标签,这样对数字藏品的管理不是建立在树形的文件夹结构下的,而是可以根据标签进行分类和提取。藏品的动态数字标签可以表示为  $\Phi(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_\kappa), \kappa = 1, 2, \dots$ , 即同一件藏品可能由于类型划分的方式而同时属于两种或两种以上的类型,那么这件藏品就可能具有两套动态数字标签,这在标记和保存过程是允许的。另外也可以根据管理需要追加新的分类,为藏品建立新的动态数字标签标识。

### 3.3. 藏品实体输出

藏品的实体输出即实现藏品展出的功能,实体的博物馆展示被时间和空间限制。例如台湾故宫博物院有藏品 60 多万件,经常展出的有 5000 多件,其他展品每 3 个月进行一次更换,通过参观的方式能够欣赏到的展品是非常有限的。数字化的展品突破的时间和

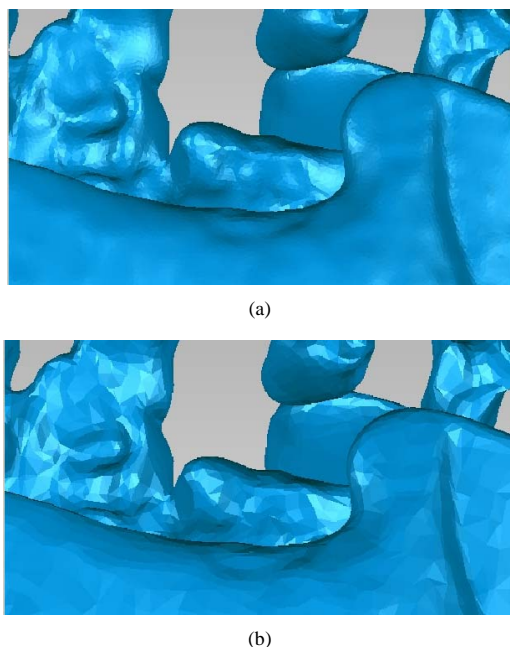


Figure 9. Different output accuracy of the digital Mamexi Dinosaur's backbone model: (a) Nondestructive output of the digital Mamexi Dinosaur's backbone model; (b) 10% destruction of the digital Mamexi Dinosaur's backbone model

图9. 马门溪龙脊骨数字模型输出示例: (a) 马门溪龙脊骨数字模型无损输出; (b) 马门溪龙脊骨数字模型 10%输出

空间的限制, 拓宽了文化传播的渠道。

藏品实体输出包括模型输出和藏品其他信息输出。这里藏品的其他信息指藏品模型数据以外的信息, 比如藏品收藏年份, 藏品级别, 收藏依据等等, 这些信息的输出通常不需要进行处理, 下面说明本文提出的分级模型数据输出。

根据对输出数据精度不同要求, 按从高到低的顺序可以分为数据分析级、影视级, 和普通级。按照模型表面曲率, 曲率越大的区域点云数据的增加与减少对曲面拟合影响程度越大, 曲率越小的区域点云数据的增加和减少对曲面拟合的影响程度越小。在模型减面计算时, 优先去除对模型曲面拟合影响程度小的点。按照不同的需求, 建立藏品模型的输出标准, 对模型去点, 再进行曲面光滑操作: 用于专业研究并获得相关许可的用户可以使用点云数据 100%输出模型, 用于影视制作并获得相关许可的用户可以使用点云数据按 50%输出的模型, 普通用户得到相关许可可以使用按点云数据 10%输出的模型。图 9 所示为北京自然博物馆马门溪龙化石藏品扫描数字化模型的脊骨部分按点云数据 100%数据输出和 10%精简的普通

级数据输出对比。

#### 4. 总结

本文以北京自然馆藏品马门溪龙的恐龙骨架化石为例, 阐述了基于逆向工程的博物馆藏品数字化及其管理的实施方案详细流程。不同于工业产品的三维数据扫描, 根据博物馆藏品种类不同, 其三维扫描的点云数据需要大量的修正和再扫描处理, 经过逆向软件中点云数据拼接及曲面拟合后, 可以建立博物馆藏品的数字化模型。在博物馆藏品的管理方面, 提出了建立藏品动态数字标签, 方便了藏品的管理与维护。由于博物馆面对的服务对象不同, 提出了精确度定级的藏品模型数据输出, 以满足不同的应用需求。实验证明, 使用逆向工程进行藏品数字化能够达到较高精度的数字化还原效果, 对藏品的保存具有一定的实用意义。然而, 随着藏品本身的尺寸, 表面结构的复杂程度不同, 会给扫描和数据处理带来较大困难, 导致数据修正处理需要时间较长。因此, 在建立数字化博物馆的工作中, 也应该依据藏品的实际情况制定合理的数字化方法。

#### 5. 致谢

感谢北京市自然博物馆为本文提供的素材, 感谢曾宇教授的指导和支支持。另外特别感谢为本文提供素材的王一舰、宋宁军和向磊。

#### 参考文献 (References)

- [1] 顾洁燕, 王晨. 试论当代数字博物馆的模式和发展[J]. 理论探索, 2011, 6(33): 39-44.
- [2] 金瑞国. 数字博物馆的传播学研究[J]. 信息化建设, 2010, 4: 94-96.
- [3] 王永平, 魏绍谦. 基于 Web 的数字博物馆虚拟空间的构建与实现[J]. 计算机系统应用, 2011, 20(1): 57-61.
- [4] 李红莉, 王丹. 逆向工程与快速成型技术的综合应用[J]. 数字技术与应用, 2011, 29(1): 72.
- [5] 国立故宫博物院虚拟博物馆[URL], 2012. <http://www.npm.gov.tw/vrmuseum/outdoor.html>
- [6] 刘伟军, 孙玉文. 逆向工程(原理方法及应用)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [7] 成思源, 谢韶旺. Geomagic Studio 逆向工程技术及其应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [8] Geomagic Inc. Geomagic Studio 10 培训手册[Z], 2008.
- [9] 盛鑫, 均辉, 赖晓龙. 浅议我国数字博物馆的资源建设[J]. 科技广场, 2011, 24(6): 194-196.