

# 传统陶瓷艺术作品的三维数字化重建及应用的研究与实践

范劲松<sup>1</sup>, 陈晓聪<sup>1</sup>, 陈雪兰<sup>2</sup>

(1.佛山科学技术学院, 佛山 528000; 2.广东石湾陶瓷博物馆, 佛山 528000)

**摘要:** **目的** 研究获取传统陶瓷艺术作品完整彩色点云数据, 并高效进行三维重建的技术方法, 探索陶艺作品数字内容虚拟展示平台的构建及推广利用的有效途径。**方法** 采用拍照式三维扫描设备采集陶艺作品的三维彩色点云数据, 研究并提出了融合、修补等后处理的新方法, 得到完整的优化彩色点云信息。通过网格化处理获得陶瓷艺术品的高保真三维网格模型和简化网格, 利用虚拟现实技术开发数字化展示平台。**结果** 获取了石湾陶瓷传统艺术作品的三维彩色点云数据, 完成了点云优化、修复, 生成了高精度的彩色网格模型并进行了数字化的推广与宣传。**结论** 提出的三维重建技术和虚拟展示方法为我国陶瓷艺术作品的保护、传承与推广作出了积极的探索, 为利用现代科技进行文化遗产数字化保护作出了新的尝试。

**关键词:** 三维扫描与重建; 彩色点云; 非物质文化遗产保护; 石湾陶瓷

**中图分类号:** TB472; TQ174 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)22-0008-06

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.22.002

## Research and Practice of Three-Dimensional Digital Reconstruction and Application of Traditional Ceramic Art Works

FAN Jin-song<sup>1</sup>, CHEN Xiao-cong<sup>1</sup>, CHEN Xue-lan<sup>2</sup>

(1.Foushan University, Foushan 528000, China; 2.Guangdong Shiwan Ceramics Museum, Foushan 528000, China)

**ABSTRACT:** Through the complete colored point-cloud data of traditional ceramic art works and efficient three-dimensional reconstruction, this paper aims to explore the viable way of constructing and promoting the virtual display platform for digital content of traditional ceramic art works. A photographic three-dimensional scanning device is first used to collect colored point-cloud data of ceramic art works, and a new method of post-processing such as fusion and repair is discussed and proposed to obtain complete and optimized colored point-cloud information. Then the high-fidelity 3D and simplified mesh model of ceramic art works is obtained through mesh processing, and digital display platform is developed by virtual reality technology. After acquiring three-dimensional colored point-cloud data of traditional Shiwan ceramic art works, optimization and reconstruction is carried out to get high-precision color mesh model and digital promotion and publicity is conducted. The proposed three-dimensional reconstruction and virtual display make an active exploration for the protection, inheritance and promotion of ceramic art works in our country, and make new attempts for the digital protection of cultural heritage through modern technology.

**KEY WORDS:** 3D scanning and reconstruction; colored point cloud; intangible cultural heritage protection; Shiwan ceramics

收稿日期: 2021-06-09

基金项目: 国家文化和旅游科技创新工程项目(2019-010)

作者简介: 范劲松(1968—), 男, 贵州人, 博士, 佛山科学技术学院教授, 主要研究方向为数字图像处理、数字化文物保护等。

通信作者: 陈晓聪(1995—), 男, 广东人, 佛山科学技术学院硕士生, 主攻三维重建、数字化文物保护。

在当今的文化遗产数字化保护领域,利用三维数字化扫描重建和虚拟现实技术已经成为一个主要的手段。针对不同的对象,为了获得最佳的数据内容,需要研究和利用对象的特点,并结合最新的技术成果制定有针对性的技术方案。对于表面色彩信息丰富的对象,为了再现其真实的形态和表现色彩,目前一般采用三维扫描的方法获取文物高精度点云位置信息,经点云配准、去噪和修补等优化操作得到完整的网格模型,通过数码相机多角度拍摄该文物的纹理图像,经人工贴图技术和纹理映射方式,将纹理图像贴在网格模型对应的位置上,得到最终含纹理信息的数字模型<sup>[1-2]</sup>。然后结合虚拟现实、互联网等信息技术,将获得的数字内容以人机互动的形式发布出来,实现文化遗产的推广和宣传。例如,Matteu 等人利用三维数字化技术为芬兰萨米博物馆藏品进行了三维重建,并探索了藏品三维模型的合理应用和萨米文化的保护问题<sup>[3]</sup>;Young 等人结合三维扫描和虚拟修复技术,完成了石佛残缺部位的修复<sup>[4]</sup>;文献[5]对大城遗址玛哈泰寺中的宝塔进行了三维重建,以数字化的形式保护了这一世界文化遗产;还有国内故宫博物院完成众多文物的三维数字化并展示于“数字文物库”线上平台,敦煌研究院持续进行壁画、佛像以及其他重要文物的三维扫描工作<sup>[6]</sup>,在“云游敦煌”微信小程序中开放给人们浏览文物的三维模型。

上述的数据采集方法将三维位置信息和表面色彩信息分开获取,在后期的纹理映射过程中由于人为因素影响不可避免地使映射位置准确度不高,导致三维重建模型与原始文物的匹配度受到影响。同时,石湾传统陶瓷艺术作品有着其独特的属性,比如模型的复杂性和表面釉料的高反光性使数据采集时不可避免地出现数据缺少和模型孔洞,另外石湾陶瓷表面釉色的丰富性也对三维重建模型表面的色彩还原性提出了新的挑战。在综合当今的三维数据采集技术的基础上,提出了适合于陶瓷文物三维数字化采集的技术路线和实施方案,结合提出的彩色点云重叠和孔洞修补算法,实现了陶瓷文物的完整信息重建。与广东陶瓷博物馆开展合作,利用提出的技术方法实现了 115 件馆藏陶瓷艺术作品的信息采集,同时利用虚拟现实等信息化手段,创新性地实现了传统文化遗产的推广与传承。

## 1 石湾陶瓷的艺术特征及三维重建方案

### 1.1 石湾陶瓷的艺术特征

石湾陶瓷最早起源于新石器时代晚期,在佛山市郊河宕村出土的陶瓷距今 4200—3500 年前。经过漫长的发展和积累,石湾陶瓷在唐宋时期得到了快速发展,在明清时期达到了繁荣和鼎盛。据记载,明代时期石湾制陶业已“初分八行”,烧制工艺和产品质量

得到很大提高。在清代,石湾陶瓷工匠借鉴北方陶瓷丰富多彩的造型和釉色,并结合当地资源和岭南文化特色,使石湾陶瓷成为了中国陶瓷艺术的重要部分。传统的石湾陶瓷艺人充分发挥本地陶土可塑性好的特点,创造了大批形象生动、造型复杂的人物形象、飞禽走兽和花卉蔬果等陶艺作品,同时还利用当地民众炊事产生的草木灰和手工作坊废弃的金属、玉器残渣制作陶瓷釉料,形成了厚实凝重、色彩丰富的特色,潘柏林大师陶艺作品《回娘家》见图 1。

石湾日用陶瓷从宋代起就通过海上丝绸之路远销到东南亚各国,在清末民初产品销往广东、广西、湖南、湖北及港澳和东南亚地区<sup>[7]</sup>。清朝时期的屈大均在《广东新语》中称“石湾之陶遍二广,旁及海外之国”。石湾陶瓷技艺也被列入我国第一批非物质文化遗产名录。

### 1.2 石湾陶瓷的三维重建方案

三维重建的第一步就是要获取准确的数据信息。根据石湾陶瓷的特点,最佳的方案就是要在在此阶段同时获得对象的三维位置信息和色彩信息,以保证采集数据的真实性和准确性。当前常用的非接触式三维扫描设备有激光、结构光式和拍照式等种类的三维扫描仪。

激光式三维扫描仪通过向物体投射激光束,结合接收传感器得到物体反射光束来计算得到物体的空间信息,具有数据采样率高、精度高的特点。但扫描对象的反光性容易影响激光束的反射,且表面纹理、环境和结构等因素也容易使激光扫描到的数据存在大量的噪声点<sup>[8]</sup>。此外,激光扫描仪只能采集物体的三维空间数据,而纹理色彩数据则需要另外通过数码相机拍摄再用人工贴图和纹理映射的方式进行处理。

结构光式三维扫描仪利用光栅投影单元将一组具有相位信息的光栅条纹投影到物体表面,利用立体相机测量原理,快速获得物体表面高密度的三维数据信息,具有扫描速度快、测量精度高的特点<sup>[9]</sup>。同样,这种测量方法对于表面高光仍然会出现数据缺失,而且也无法获得物体的色彩信息。



图 1 潘柏林大师陶艺作品《回娘家》  
Fig.1 Master Pan Berliner's pottery work  
“Return to Mother's Home”

拍照式三维扫描仪(又称为图像建模)是近些年出现的更为先进的技术产品,融合结构光和计算机视觉技术,对快速拍摄得到的一系列图像进行计算,还原出扫描对象的空间位置信息,同时获取该对象表面的色彩纹理信息,受扫描对象的反光性影响较小,不需要喷涂显像剂或其他处理便可以采集较为完整的表面信息<sup>[10]</sup>。由于是基于彩色数字图像的方法,所以可以直接获得带有纹理信息的三维数据<sup>[11]</sup>,非常适合陶瓷艺术作品的数字化采集工作。

由于不可能一次性扫描同一个对象各个方位的三维信息,且大部分艺术品存在自身遮挡现象,所以在实践工作中需要多次扫描才能获得较为全面的数据。同时扫描设备获取的三维数据仍不可避免地存在噪点、数据缺失等问题,需要对采集数据进行去噪、拼接、重叠区域融合和孔洞修补等后处理工作,再进行网格化得到最终完整的三维网格模型并进行数字内容的应用。考虑到上述的这些因素,开展的石湾陶瓷艺术品的三维重建方案见图2。

## 2 三维数据采集和处理

### 2.1 陶瓷艺术作品三维数据的采集

拍照式三维扫描仪见图3,包含两个数码摄像头、一个彩色摄像头、一台白光图案投影仪以及多个LED白色灯,同时还使用两台高性能图形工作站并配置NVIDIA RTX图形卡以及专用扫描控制软件VXelements。在扫描过程中,陶瓷艺术作品放置于圆盘形旋转平台;在采集过程中,设置采集点云的三维分辨率为0.2mm,在此分辨率下获得的三维模型精度

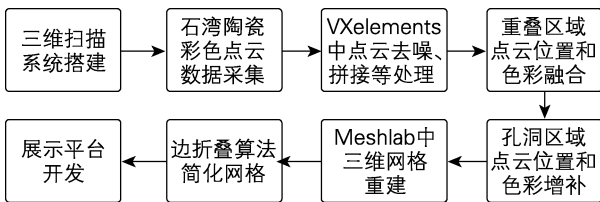


图2 三维重建方案  
Fig.2 Three-dimensional reconstruction scheme



图3 拍照式三维扫描仪  
Fig.3 Photographic 3D scanner

高达0.1mm。此外,LED白色灯完全覆盖扫描区域,采集工作在稳定白光环境且周围无强反射物体的空间进行,利于准确地获取陶瓷艺术品表面的色彩值。

### 2.2 采集数据的预处理

完成扫描并经过软件计算后,得到的三维数据仍然存在一定缺陷,主要表现为存在大量的离群孤立点;对于遮挡的部位不可避免地产生数据缺失,使部分位置会出现孔洞;分次扫描得到的三维数据需要进行拼接。使用扫描控制软件VXelements来初步完成移除孤立点、扫描数据拼接和孔洞修补等工作<sup>[12]</sup>,但孔洞修补结果并不理想,在点云拼接上也常存在重叠的数据,需要再进行进一步的融合处理。点云预处理结果见图4,为石湾陶艺作品《春满人间》预处理完成后的彩色点云。

### 2.3 重叠区域融合

在采集的彩色点云数据中,由于拼接时需要一定相同特征的数据点以确保拼接的准确性,拼接结果会出现相同特征部分点云重叠的现象。重叠部分的点云密度要明显高于其他部分,会严重影响网格重建的速度和质量,其网格重建结果常有细小通孔、非流形等较为隐蔽的错误网格关系<sup>[13]</sup>。现有的点云重叠区域融合方法只对点云的位置信息进行了计算,未考虑彩色点云色彩信息的处理。作者采用了基于三维体素融合的思想,对彩色点云重叠区域进行融合处理,实现重叠部分色彩信息的保留且能与周围合理过渡,主要分为3个处理阶段。(1)依据彩色点云的点坐标极值计算出整片彩色点云的包围盒,确定全部点云的空间范围,在3个坐标轴方向上引入可变距离参数,以适当调整包围盒长度,防止点云出现在包围盒的临界位

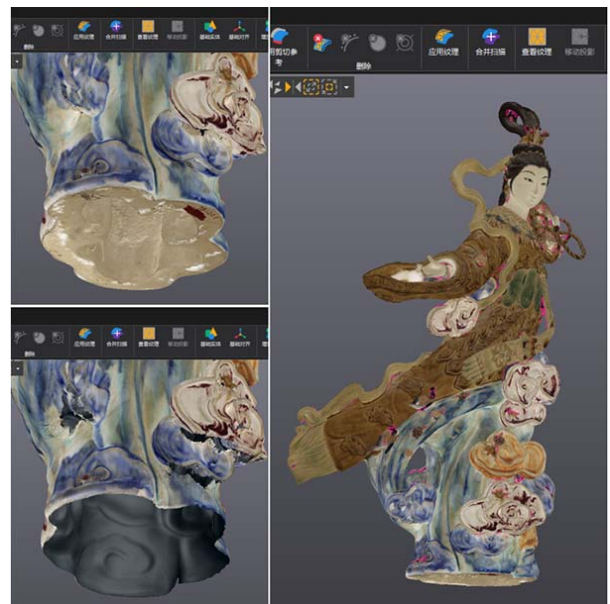


图4 点云预处理结果  
Fig.4 Point cloud preprocessing results



置；(2)以三维分辨率为边长单位确立小立方体，分别计算 X、Y、Z 三轴方向上的小立方体个数，利用高斯取整计算方法对小立方体逐一编码，取整的方法避免了出现在小立方体临界顶点、边线和面的点云在计算上的遗漏，此时，小立方体内将大部分包含 1 个彩色点，还有 2 个彩色点和少数 3 个点的情况；

(3)计算所有小立方体内所包含点的重心值作为新的彩色点云，包括点云的坐标值和 RGB 值，原彩色点云的均匀分布使得新计算得到的彩色点云仍能保持相近的间距，融合后的重叠区域上的点云分布也相对均匀。

点云重叠和数据融合见图 5，是陶艺作品《春满人间》的彩色点云数据的重叠区域(图 5b)以及进行三维体素法融合之后的结果(图 5c)，新生成的彩色点云部分保持了良好的点间距，并保留了点的色彩信息，有利于后续的网络重建。

#### 2.4 缺失区域的修补

石湾陶瓷艺术品的形态特征普遍较为复杂，自遮挡现象比较常见，三维扫描采集到的数据不可避免地存在数据的缺失，即彩色点云的孔洞区域。石湾陶瓷的形态结构的特殊性使其彩色点云孔洞更多样化，可能在平坦、转角或尖锐等部位出现孔洞。在点云孔洞修补方面，现有的众多方法仍然注重点云位置信息的增补<sup>[14-15]</sup>。为了满足不同类型孔洞的修补要求，同时需针对彩色点云的色彩信息进行复原，基于文献[14]的形状可控的点云孔洞修补方法，并结合二维图像修复的思想，作者提出了彩色点云孔洞位置的空间和色彩信息同步修补方法。根据文献[14]中获取石湾陶瓷艺术品彩色点云的孔洞边界点，逐次对孔洞边界进行收缩计算，最后利用计算得到的填充点及其邻域的色彩信息计算出收缩后的点云的颜色值，实现孔洞区域

的点云空间信息和色彩信息的增补。

点云位置和色彩修补见图 6，是对陶艺作品《春满人间》的点云孔洞区域(图 6a—b)以及对应位置进行修补得到的新彩色点云(图 6c—d)，该方法较好地修补了尖锐、转角等类型的孔洞，遮挡部位的填补可靠，同时实现了孔洞区域色彩信息的修复。

### 3 网络重建与虚拟现实应用开发

#### 3.1 彩色点云的网格重建

彩色点云形态下的石湾陶瓷三维数据为离散状态，需要进行表面的网格重建工作，即建立点之间的拓扑关系，得到连续的特征表面，才能应用于更多的开发流程。现有常使用的网格重建方法主要有基于泊松方程的曲面重建算法、Delaunay 三角化算法以及对

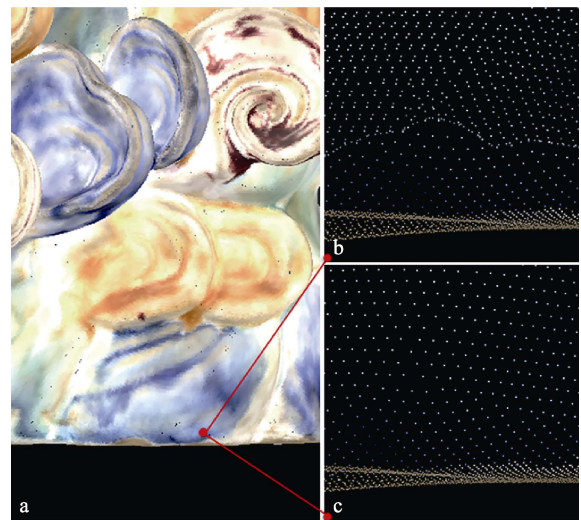


图 5 点云重叠和数据融合

Fig.5 Point cloud overlap and data fusion

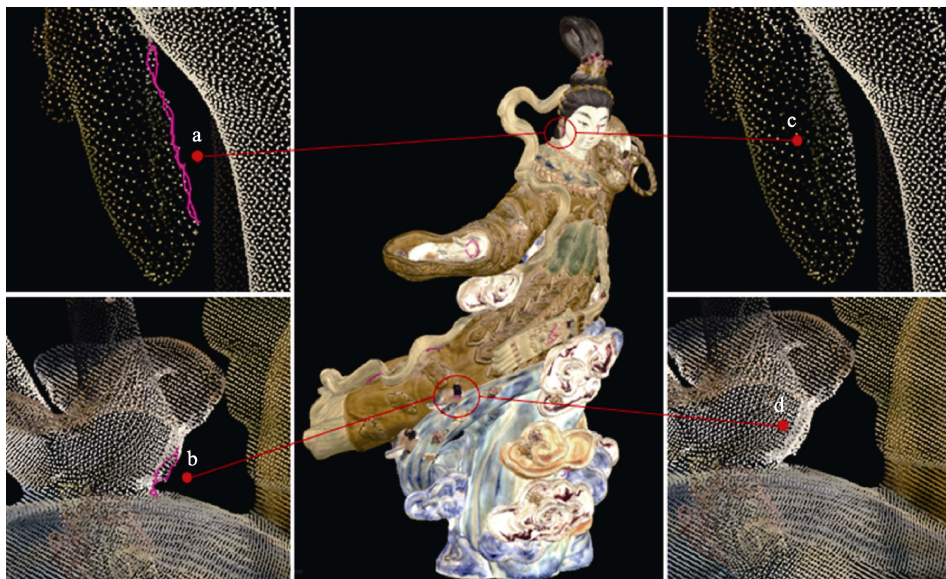


图 6 点云位置和色彩修补

Fig.6 Location and color repairing of point clouds

其进行优化的相关方法<sup>[16-17]</sup>。通过上述的工作,石湾陶瓷彩色点云数据很好地保持了均匀分布规律,同时保留了法线信息,为采用泊松网格重建提供了优良的数据基础。

泊松网格重建见图7,是陶艺作品《春满人间》三维点云在泊松重建后的结果,由此可以看出,其较好地将陶瓷原有的尖锐和转角特征进行网格化,对于遮挡部位的还原真实度高。

### 3.2 彩色网格模型的简化

前面得到的高精度的三维网格模型记录了陶艺作品细致完整的信息,不仅能提供给专业人士研究石湾陶塑技艺的特点,还可以作为3D复制品和实体修复的源数据。但因其数据量大,占用资源高,不适合直接用于虚拟展示和互联网应用,因此简化三维模型的网格复杂度成为必不可少的环节。

模型简化的原则是在保证信息保真度的前提下尽可能减少模型网格数量。为此作者首先将高精度彩色网格的顶点色彩信息通过UV展开映射到纹理图像当中,把模型表面的凹凸信息记录到法向贴图<sup>[18]</sup>。然后利用网格简化算法(如Meshlab的边折叠简化算法)降低网格面数,获得简化后的低精度网格模型<sup>[19-20]</sup>。最后将纹理图像和法向贴图烘焙到低精度网格模型上,最大限度地保留了原始数据的视觉效果。

网格模型简化见图8。石湾陶艺作品《春满人间》的网格模型经过简化,网格面数由5742838(图8a)降低至57622(图8b—c),但在视觉效果上仍然与原模型保持较好的一致性。

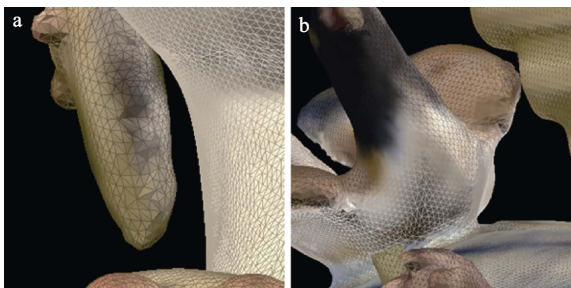


图7 泊松网格重建  
Fig.7 Poisson mesh reconstruction

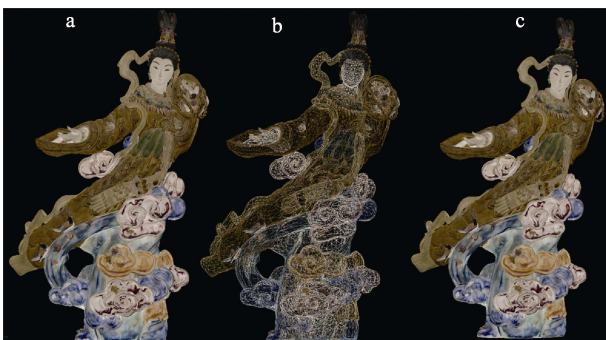


图8 网格模型简化  
Fig.8 Mesh simplification

### 3.3 虚拟现实应用开发

现代信息技术和虚拟现实的发展为文化遗产的传承、活化和推广开辟了新的方向,使得人们过去必须利用整块时间到博物馆、展览馆才能参观和欣赏的方式,转变为可以在多个公共场所或者利用身边的设备随时就可以查看和欣赏艺术作品。

本文作者在前期工作的基础上进行了石湾陶瓷艺术品虚拟展示平台的开发,包括电脑端和移动手机端,大众能近距离和任意角度地查看陶瓷艺术品,从细节上观察石湾陶瓷丰富的釉面纹理和形态特征,石湾陶瓷线上展示平台见图9。此外,石湾陶瓷简化的网格模型也应用于佛山地铁2号线—石湾站—三维陶瓷展示平台的建设,与南风古灶、广东石湾陶瓷博物馆和石湾公仔街等共同打造具有当地鲜明文化特色的旅游路线,民众在此站便可提前了解石湾陶瓷艺术品。

## 4 结语

随着科技的发展和文明的进步,文化遗产的三维数字化重建将有更多的应用场景,为弘扬和传承传统文化起到了非常积极的促进作用。例如:深圳博物馆在龙门石窟的造像艺术展中的高保真观世音像龕的3D复制品、云冈研究院将尝试数字回归的方式收回流失在海外的云冈石窟佛造像等,三维数字化重建技术将成为这些工作的重要技术支持。

本文针对石湾陶瓷艺术品的特性,研究并实现了一种适合于表面色彩信息丰富且形态复杂的陶瓷艺术品的三维重建方法,该方法高效便捷、信息保存完整并适于虚拟现实应用。目前作者已经完成广东石湾陶瓷博物馆115件馆藏珍贵陶瓷文物的数字化扫描及三维重建工作,完成了高精度的陶瓷三维网格

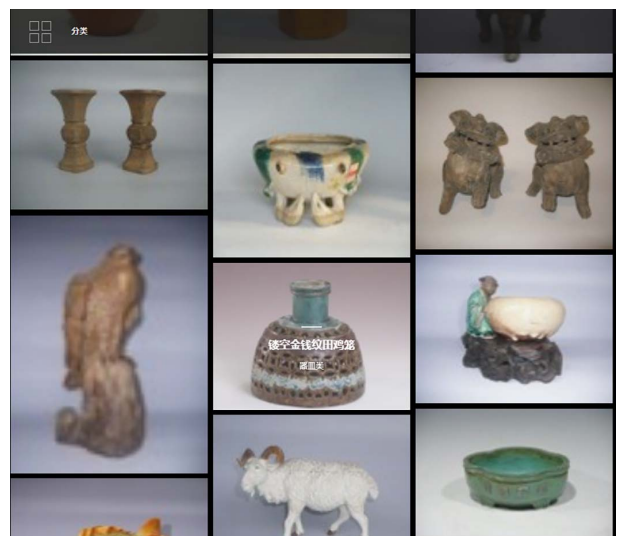


图9 石湾陶瓷线上展示平台  
Fig.9 Shiwan ceramics online display platform



模型, 并开发了相关的虚拟现实应用。随着科技的不断发展, 这些数字内容将在未来有着越来越广泛的应用。

#### 参考文献:

- [1] 王晓红, 任展翔, 杨礼彬. 基于感兴趣区域的彩色三维物体快速喷绘方法[J]. 包装工程, 2021, 42(7): 257-263.  
WANG Xiao-hong, REN Zhan-xiang, YANG Li-bin. Research on the Fast Printing Method of Color Three-Dimensional Objects Based on the Region of Interest[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(7): 257-263.
- [2] INZERILLO L, PAOLA F D, ALOGNA Y. High Quality Texture Mapping Process Aimed at the Optimization of 3D Structured Light Models[J]. ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2019, 2(9): 389-396.
- [3] MAGNANI M, GUTTORM A, Magnani N. Three-dimensional, Community-based Heritage Management of Indigenous Museum Collections: Archaeological Ethnography, Revitalization and Repatriation at the Sámi Museum Siida[J]. Journal of Cultural Heritage, 2018(1): 162-169.
- [4] Jo Y H, Hong S, Jo S Y, et al. Noncontact Restoration of Missing Parts of Stone Buddha Statue Based on Three-dimensional Virtual Modeling and Assembly Simulation [J]. Heritage Science, 2020, 8(1): 103.
- [5] MANAJITPRASERT S, TRIPATHI N K, ARUNPLOD S. Three-Dimensional (3D) Modeling of Cultural Heritage Site Using UAV Imagery: a Case Study of the Pagodas in Wat Maha That, Thailand[J]. Applied Sciences, 2019, 9(18): 3640.
- [6] 余生吉, 吴健, 王春雪, 等. 敦煌莫高窟第 45 窟彩塑高保真三维重建方法研究[J]. 文物保护与考古科学, 2021, 33(3): 10-18.  
YU Sheng-ji, WU Jian, WANG Chun-xue, et al. Research on the High Fidelity 3 D Reconstruction Method for Painted Sculptures in Cave No.45 of Mogao Grottoes in Dunhuang[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2021, 33(3): 10-18.
- [7] 刘孟涵. 中国传统工艺集萃——石湾陶卷[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2017(1): 2-14.  
LIU Meng-han. Collection of Chinese Traditional Crafts-Shiwan Pottery Rolls[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 2017(1): 2-14.
- [8] 刘立恒, 赵夫群, 汤慧, 等. 几何特征保持的文物点云去噪算法[J]. 数据采集与处理, 2020, 35(2): 373-380.  
LIU Li-heng, ZHAO Fu-qun, TANG Hui, et al. A Denoising Method for Point Cloud of Cultural Relics with Geometric Feature Preservation[J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2020, 35(2): 373-380.
- [9] 龙玺, 钟约先, 李仁举, 等. 结构光三维扫描测量的三维拼接技术[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2002, 42(4): 477-480.  
LONG Xi, ZHONG Yue-xian, LI Ren-ju, et al. 3-D Surface Integration in Structured Light 3-D Scanning[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2002, 42(4): 477-480.
- [10] 谢杰良. 结构光扫描三维全自动重建方法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2018.  
XIE Jie-liang. Research on Fully Automatic Three-dimensional Reconstruction of Structured Light Scanning [D]. Wuhan: Wuhan University, 2018.
- [11] 张俊齐. 基于照片建模技术的彩色三维扫描仪改良设计及其应用研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2018.  
ZHANG Jun-qi. Improved Design and Application of Color 3D Scanner Based on Photo Modeling Technology[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2018.
- [12] GOMES L, BELLON O, SILVA L. 3D Reconstruction Methods for Digital Preservation of Cultural Heritage: a Survey[J]. Pattern Recognition Letters, 2014, 50(1): 3-14.
- [13] 高爽. 基于结构光的小型物体三维重建技术[D]. 成都: 电子科技大学, 2019.  
GAO S. 3D Reconstruction of Small Object Based on the Structured Light[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2019.
- [14] YANG L, YAN Q G, XIAO C X. Shape-controllable Geometry Completion for Point Cloud Models[J]. The Visual Computer, 2017, 33(3): 385-398.
- [15] TABIB R A, JADHAV Y V, TEGGINKERI S, et al. Learning-Based Hole Detection in 3D Point Cloud Towards Hole Filling[J]. Procedia Computer Science, 2020, 171: 475-482.
- [16] KAZHDAN M, MING C, RUSINKIEWICZ S, et al. Poisson Surface Reconstruction with Envelope Constraints[J]. Computer Graphics Forum, 2020, 39(5): 173-182.
- [17] SU T, WANG W, LIU H, et al. An Adaptive and Rapid 3D Delaunay Triangulation for Randomly Distributed Point Cloud Data[J]. The Visual Computer, 2020(20): 1-25.
- [18] 吴发辉, 张玲, 余文森. 基于图形学算法的纹理映射技术的研究与实现[J]. 现代电子技术, 2018, 41(24): 71-74.  
WU Fa-hui, ZHANG Ling, YU Wen-sen. Research and Implementation of Texture Mapping Technology Based on Graphics Algorithm[J]. Modern Electronics Technique, 2018, 41(24): 71-74.
- [19] NALLIG L, ESMEIDE L, SANCHEZ T. A Linear Programming Approach for 3D Point Cloud Simplification[J]. IAENG International Journal of Computer Science, 2017, 44(1): 60-67.
- [20] VELJKO M, ZIVANA J, ZORAN M. Feature Sensitive Three-Dimensional Point Cloud Simplification Using Support Vector Regression[J]. Tehnicki Vjesnik, 2019, 26(4): 985-994.