

敦煌石窟数字化工作中的洞窟 全景漫游技术初步应用

宋利良 李大丁

(敦煌研究院 数字中心, 甘肃 敦煌 736200;
古代壁画保护国家文物局重点科研基地, 甘肃 敦煌 736200;
国家古代壁画保护工程技术研究中心, 甘肃 敦煌 736200)

内容摘要:基于全景摄影的虚拟现实技术在敦煌莫高窟文物保护工作中的关键技术应用。以全景摄影为基础的全景漫游制作作为文化遗产地的虚拟展示提供了新型的研究平台。本文叙述了敦煌研究院相关工作的现状和 workflows, 并对发展前景和存在问题的解决提出了新的思路。

关键词:敦煌石窟; 数字化; 全景漫游; 虚拟实景

中图分类号: J421 文献标识码: A 文章编号: 1000-4106(2010)06-0093-05

Preliminary Application of Panorama in Digitalizational Dunhuang Grottoes Art Digitalization

SONG Liliang LI Dading

(The Digital Center Dunhuang Academy, Dunhuang Gansu 736200;
Key Scientific Research Base of Conservation for Ancient Mural (Dunhuang Academy) State
Administration for Cultural Heritage, Dunhuang Gansu 736200;
National Research Center for Conservation of Ancient Wall Paintings Dunhuang Gansu 736200)

Abstract: Dunhuang Academy conducts a long-term researching of digital heritage. Panorama of the Dunhuang Caves is a part of the digital work. The article describes the function of panorama in digital heritage, such as the function of recording the real environment, the function of being a platform of multimedia linked to and the function of being material of other VR applications. The article also lists the key issues of the workflow, and has proposed the solutions.

Keywords: Dunhuang Grottoes; Digitalization; Panorama; Virtual Reality

收稿日期: 2010-06-01

作者简介: 宋利良(1963—), 男, 甘肃省安西县人, 敦煌研究院数字中心馆员, 从事石窟摄影工作。

石窟的数字化保护、存储和展示,一直是敦煌研究院针对莫高窟及周边石窟保护、研究、弘扬为核心的工作准则的重要实践。敦煌石窟的数字化工作包含有几个不同层面的含义:(一),文物的保护、存储和展示的工作手段和设备采用计算机和其他数字化辅助设备;(二),采用现有的、成熟应用的、通用的多种数字媒体格式进行数据的承载、处理、传输、保存和展示;(三),研究和探索不断发展中的计算机应用技术(比如计算机图形图像技术发展和网络应用技术发展)和新型数字媒体应用技术在文物保护工作中的应用。敦煌研究院目前的数字化工作都是围绕着上述几个层面所展开的。本文所论述的即是敦煌研究院数字中心历经多年的合作和探索,目前已经成熟应用于洞窟全景漫游制作。

一 全景漫游概述

全景漫游是虚拟实景(Virtual Reality,缩写即VR)技术的一种实现方式。在论述全景漫游应用时,有必要先对虚拟实景技术作简要介绍。

虚拟实景技术是利用计算机模拟出虚拟的仿真环境,使用者可以获得如同亲临真实环境的沉浸体验。虚拟实景技术是对计算机图形图像学、计算机模拟技术、摄影测量、人工智能、仿生学等多种学科的综合应用,是一种由计算机辅助生成的模拟系统,通过使用影像、声音、触觉营造的集成环境,改变以往人们只能从计算机的外部去观测处理结果,到人能够沉浸到计算机系统创建的环境中;从过去人只能从鼠标、键盘与计算环境中的一维信息建立关系,到能够使用多种传感器与多维信息的环境产生交互影响。归纳来说,虚拟实景技术具有称为“三个I”的特征,即 immersion, interaction, imagination(沉浸、交互、构想),分别揭示了使用者在虚拟实景技术应用中的多维信息感受,主动控制,从感知和理性认识萌发创新意识这三个层次。

绝大多数的虚拟实景应用都是视觉体验,通过电脑显示屏幕、特殊显示设备或者立体显示设备得到的。本文论述的全景漫游,就是通过结合数字摄影和计算机生成影像实现的一种虚拟实景体验。

全景漫游的概念来自图片摄影领域的全景摄

影(panoramic photography)。全景摄影的特点是用接片的方式获得超越正常视角的平面影像,根据创作者表达意图的不同可以选择画面的视角宽度,最完整的全景摄影作品的视角宽度达到水平360°,如图1所示。



图1 莫高窟第85窟外景的全景摄影图像

全景漫游是在全景摄影给观众二维的平面视觉感受的基础上,由计算机针对特定要求的全景摄影图像(水平视角360°,垂直视角180°)进行球体缝合计算,虚拟出三维的空间环境,并且通过软件给观众提供这个全视场的呈现。观众通过主动的操作控制,可以在显示设备上观察环境中的任何位置,或者可以通过环境中预先设置的观察节点进行移动。观众获得身临其境的感受,同时全景漫游制作手段日益成熟,展示形式通用且普及,这都使全景漫游目前被广泛应用,谷歌推出的最新服务谷歌街景(google street view)也主要采用的是全景漫游的概念。

二 全景漫游在文物保护工作中的功能

1. 记录和重现的功能

全景漫游可以真实准确地记录和重现文化遗产地文物保护对象存在的环境、文物保护或者考古发掘的工作现场。在此基础上,还能够交互地访问观者感兴趣的任意位置的细节,并提供链接其他媒体格式的功能,拓展信息承载能力。

我们知道,在使用数字影像的范畴里,有全景漫游技术、传统摄像技术和三维重建技术来实现对环境的记录和重现。在界定了环境重现的功能前提下,我们比较全景漫游,传统摄像和三维重建三种技术手段,如表1,显而易见全景漫游的输出分辨率、文件尺寸、交互能力、多媒体延展性、放映平台通用性和易用性等全部占有优势。

2. 内容标记和多媒体资源链接的展示平台的动态

如图2,将各种资料,比如文献,图像,视频以及音频各种格式搭建在直观的全景漫游演示系

附表

	输出分辨率	文件尺寸	交互能力	其他媒体格式文件链接方式	简单和复杂场景的重建难度	放映平简易度
全景漫游	理论上任意分辨率,通常使用中等尺寸的 6324 × 3162	约 50 MB,任意时长浏览	有	主动链接,交互浏览	不受约束	简单
传统摄像	1920×1080(高清) 720×576(标清)	高清格式每分钟约 1.2 GB, 标清格式每分钟约 250 MB ^[2]	无	被动链接,线性浏览	不受约束	简单
三维重建	理论上任意分辨率,但是对计算机运算资源占有量庞大	百 MB 至 GB 级不等	有	根据预渲染和实时渲染的不同而不同	很困难。对复杂场景的重建需要付出极大的人员和设备投入	复杂,还有预渲染和实时浏览的区别

统中,构成一个可视化的综合内容数据库。

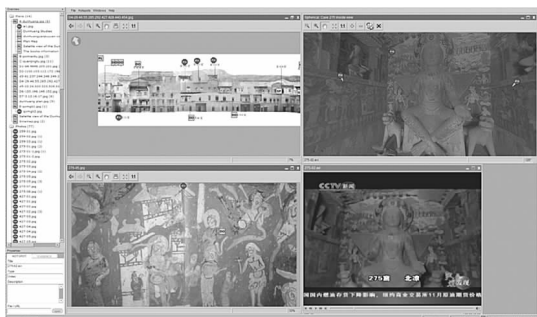


图2 R2S 媒体链接浏览平台

3. 为其他虚拟现实应用提供素材的功能

所有的虚拟现实应用都是为了给观众提供沉浸体验,最常见的沉浸体验来自于观众获得的全视角影像。在二维的数字影像中,只有全视角的全景漫游可以提供全视角影像^[1-3]。因此,全景漫游成为其他虚拟漫游应用中最常见的基础数据。如图3所示,莫高窟第85窟外景的全景影像经过虚拟六面体渲染后生成的用于球幕电影投影的等距鱼眼影像。



图3 全景图渲染等距鱼眼流程

三 全景漫游在石窟保护工作中的关键 是:高动态范围影像(HDR)处理

高动态范围(HDR)影像,是目前数字摄影和计算机图形处理应用中的热点研究领域。它的研究目的是在数字成像,处理和输出各个环节中尽可能接近人眼视觉的亮度范围级别。也就是说,在我

们以洞窟环境为对象,进行虚拟现实研究时,在获取、处理和显示的三个环节都会遇到与HDR相关的问题。因为获取的是水平360°,垂直180度的全视角影像,则意味着在前期需要尽可能地采用现场光源或者自然光源,同时也意味着获取阶段必然会遇到高光与暗部并存的光比极大的环境条件。

目前我们从HDR影像的处理思路来解决上述的同时,达到拍摄时亮部与暗部细节的质量要求。简单地说,HDR的处理思路是:当拍摄环境中同时存在高光A区和暗部B区时,由于目前数字感光原件的宽容度和数字文件比特位深的限制,无论如何控制曝光,在拍摄时无法同时获取光比两端的影像细节。于是采用控制曝光补偿多次曝光的办法,比如正常测光后曝光一次,得到环境的平均正确曝光照片;然后减少曝光补偿,获取高光A区的细节;继而增加曝光补偿,获取B区的暗部细节;最后在三张源文件中各取所需,合成得到HDR影像。在工作实践中,可以由人工控制曝光和使用获取设备自带的HDR功能两种方案配合使用。在数字设备自带的HDR功能中,通常以富士(FUJI)的Super CCD EXR和尼康(Nikon)的Active D-Lighting技术在行业内较有代表性。

四 全景漫游在敦煌石窟应用的工作流程

为了实现全景漫游文件的生成,存在众多实现技术路线。在此着重讨论敦煌研究院数字中心采用的技术方案。

工作流程包含以下几部分:

1. 全景摄影

如前所述,为了给观众提供在洞窟内外有不同观测位置的选择,需要拍摄前在洞窟内外选择几个拍摄节点,以节点为单位,进行定点的全景摄影。

为了在任意节点获取水平360°、垂直180°视角的图像,首先需要根据所选用的摄影镜头的视角范围来推算拍摄张数和层数,然后使用全景摄影专用云台(图4)来确保相机的定位和精确的旋转角度。



图4 全景摄影云台

石窟摄影,常常需要表现的是高动态范围(HDR)环境,以现有相机的感光能力和人为对环境的布光都还不足以一次获取到完美的高动态范围影像。为了能够得到令人满意的光比较大位置的影像,我们采用多次曝光后期嵌套拼接的方案。

如图5所示,实践经验证明,一次拍摄难以得到图中标注“完成”的图像效果,这是由目前数字相机的感光原件所决定的。于是我们把需要获取的场景分为洞窟门外、甬道、主室内三个部分分别按照不同的曝光条件拍摄,分别得到标注“DARK 1”,“DARK 2”和“BRIGHT”的三张影像,再通过后期计算机图像处理,各取所需,嵌套拼合完成最终的效果。



图5 高动态范围图像的拍摄和生成

2. 计算机图像处理及全景漫游文件的生成

全景漫游文件的计算机生成过程主要分为三步完成:

1)对洞窟拍摄获取的数字图像进行常规数字化处理,如色彩管理和归档等。

2)对特殊局部影像单独处理。例如图5所示的嵌套处理以及如图6所示的影像画面内三角架的擦除等。



图6 擦除三角架的处理

3)全景漫游生成软件进行单节点的文件生成处理。软件先调用相机镜头配置文件,对待处理图像进行预处理,为待处理图像进行排序和位置校正;接着自动或者在人工干预下生成拼接控制点,进行配准和优化,确定输出文件的主视窗位置、初始观测角度、输出分辨率和输出格式后,进入最终的拼接和渲染。

单节点的全景漫游文件生成之后,将其导入虚拟场景制作软件,使各节点建立链接,实现观测时的位置跳转。

3. 发布及展示

目前敦煌研究院数字中心正在逐年增加对莫高窟及周边洞窟的全景漫游制作数量。截止本文发表前,已经合作和独立完成的洞窟漫游展示有52个,制作节点超过150个。

五 存在的问题和未来的研究方向

通过实际工作,我们发现以下一些问题有必要成为未来关于洞窟虚拟现实相关的研究方向:

1. 简化工作流程以及提高效率

敦煌研究院数字中心目前已经能够熟练应用本文所论述的全景漫游制作。如果不改变基本工作流程和原有设备的基础上,我们认为对工作效率和工作进度的提高有待研究。目前使用的14mm广角镜头完成一个节点需要拍摄的照片数量是每层12张并拍摄3层,共计36张,再计算进去需要嵌套处理的额外拍摄张数,使总计数量大约翻一倍。换句话说,完全完成一个节点的前期拍摄工作需要不断调整光照条件下拍摄约60张。目前莫高窟的一个典型洞窟,我们通常设计拍摄节点为3到5个。拍摄数量大,布光时间长,同时后期计

算机处理的工作量也相应地增加。

在未来工作实践中,针对上述问题,建议考虑从镜头更换、光照条件调整两方面入手研究,比如使用更短焦距镜头和更加轻便灵活的恒定光源等。

2. 分辨率约束的改进

关于数字影像的讨论永远离不开分辨率。

通过对上述工作流程的研究我们发现,图像分别在前期拍摄阶段、后期计算机处理阶段和展示阶段,都涉及到分辨率发生改变。在拍摄阶段,目前使用的数字单反相机单张拍摄的分辨率约在 4000×3000 像素,并在经过拼接处理后会进一步提高;在计算机生成全景文件的处理阶段,目前软件能够承担的最大输出分辨率是 2000×2000 像素;在显示环节,主流电脑显示器还在 1600×1000 像素水平,高清电视的标准是 1920×1080 像素,主流数字投影机在 2000 像素。

通过对比,我们可以得到的结论是拍摄分辨率远远高于处理和显示的分辨率,而目前的处理分辨率尚能满足主流显示设备的要求。但是随着技术发展,我们担心在软件处理环节或者显示输出环节的技术未能均衡发展时,会使其中的一方成为瓶颈,导致最终成果被迫迁就较低分辨率的那一方。

3. 建立集成多种功能的展示平台

目前敦煌研究院数字中心制作的洞窟漫游文件,都还以洞窟为单位存储和展示。如何在洞窟间建立关联,将莫高窟整个窟区作为一个整体呈现给观众是未来需要尽快解决的课题。另外,因为全

景漫游能够提供最直观的洞窟形制展示,我们希望在目前仅为观众提供浏览的基础功能上,扩展它在学术研究中的应用价值。例如希望能够延伸开发出以全景漫游为平台,以它直观展现的内容为基础,研究者可以在其上进行标注,测量和多图层操作,或者链接其他多种格式的文档或者媒体文件,借用地理信息系统(GIS)的操作概念,使洞窟全景漫游应用向图像化数据库的方向发展。

4. 结合计算机视觉和摄影测量相关技术,将全景漫游的虚拟三维向真实三维空间展示转变

全景漫游是计算机视觉技术在虚拟现实领域中的应用。在虚拟现实技术的发展中,构建真实三维空间无疑较目前全景漫游能够实现的虚拟三维空间有更大的优势。目前我们使用全景漫游这种形式,是在人力、效率、计算机处理能力和适用性几个方面平衡后的选择。但是随着计算机软硬件发展,真实环境的三维重建技术和计算机对三维环境的实时演算能力的提高,敦煌研究院数字中心在石窟保护虚拟现实技术应用的工作重点应该逐渐转变。

参考文献:

- [1]潘云鹤,樊锦诗.敦煌真实与虚拟[M].杭州:浙江大学出版社,2003.
- [2]Jack James/施正宁.数字中间片[M].刘戈三,译.北京:中国电影出版社,2007.
- [3]Paul Bourke. Digital Fuldome Techniques and Technologies[J]. IMERSA. IPS. 2008 Summit, 2008.