

基于动作捕捉技术的孔庙祀典数字化^①

邹 虹, 李 莹, 欧 剑, 吕德生

(哈尔滨工业大学 媒体技术与艺术系, 哈尔滨 150001)

摘 要: 祀典现场情况的保存, 通常采用的是摄像机或照相机拍摄的方式, 这只能从几个有限的角度以二维图像的方式进行记录并传播, 在数据的重复利用及编辑性方面有其弱势, 且数字化程度较低。针对这一问题, 以孔庙祀典为研究对象, 采用动作捕捉技术对祀典乐舞舞蹈的舞姿进行三维空间的数据记录提取, 对舞者动作的运动轨迹保存处理后, 利用 Maya、Motion Builder 及 UDK 软件进行舞蹈及其环境的三维建模、动作绑定及角色动画制作, 数字化地再现孔庙祀典乐舞的精髓。

关键词: 动作捕捉; 孔庙祀典; 数字化

Digital Confucius Ceremony Based on Motion Capture

ZOU Hong, LI Ying, OU Jian, LV Deng-Sheng

(Department of New Media and Art, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: The traditional way to recover the ceremony event is via video recording, with limited views in 2d form. There is obvious weakness in re-edit ability and reusability in such way. To solve this problem, the authors present a way by capturing the ceremony performer's motion capture data, and retargeting the data to a digital character, which is modeled in Maya, characterized in Motion Builder and real-time rendered in UDK. This method proved to be a new digital way to represent the essence of Confucius ceremony.

Key words: motion capture; Confucius ceremony; digital

1 孔庙祀典的历史及其数字化的意义

在《国语·鲁语上》中记载“夫圣王之制祭祀也, 法施于民则祀之, 以死勤事则祀之, 以劳定国则祀之, 能御大灾则祀之, 能捍大旱则祀之。”这是古代国家祭祀的原则, 承继着上古的传统, 也是后世国家制定祭祀礼仪的根据。

鲁哀公在公元前 478 年, 也就是孔子去世的第二年, 尊称孔子为“尼父”并开始祭孔。西汉末年汉成帝在位期间, 对孔子的祭祀渐渐成为了国家的公祀。东汉祭孔的规格提升为“和社稷同级”, 成为国家的通祀。到唐代的祭孔, 就逐步完善了孔庙的配享制定, 并重新制定了祭祀的礼器祭品等。明代开国伊始将其祭器已定为十二笱、豆, 舞用八佾。清代乾隆年间将大成殿改为黄瓦, 表明孔庙祭祀规格的提高, 顺治二

年时的孔庙全部都改为黄瓦盖顶, 祭祀乐舞是八佾, 并增加武舞, 释奠礼由皇帝亲自进行, 行三跪九拜礼, 上香、献帛、献爵一律跪行, 后又定孔庙为九楹三阶五陛制, 由此对孔子的尊崇达到了中国历史上的顶点^[1]。

儒家美学是中国传统艺术美学的精髓, 而在古代儒家礼制中, 孔庙祭祀大典承载着不可替代的作用, 虽然随着朝代的变更, 孔庙祀典乐舞有着反复的变化和更新, 但是其体现孔子精神的主题、以及孔子重礼尚乐的思想、儒家仁义的哲理都不曾有过变动。当前的用于保存孔庙祀典的数字化技术, 多是采用摄像机或者照相机记录祀典的现场, 以数字化信号的方式进行传播。但是这种单向传播的方式, 对于观看者来说, 没有任何的交互性而言, 只能从记录者的角度观看孔庙祀典, 不能全方位地对孔庙祀典进行了解和研究。

^① 基金项目: 教育部人文社会科学研究规划项目(09YJCZH027); 黑龙江省哲学社会科学研究规划项目(08E056)

收稿时间: 2011-09-29; 收到修改稿时间: 2011-11-07

在文物领域, 利于游览观赏、文物保护、研究及资料保存的虚拟文物数字化系统是当前文物保护的发展方向之一。虚拟现实技术是当前数字化文物的技术之一, 利用该技术建立物体的数字化模型, 可以实现交互式地探索其几何外观、功能等诸多方面的内涵实质。孔庙祀典的数字化, 是以数字技术对祀典的孔庙建筑、仪式空间、物品陈设等各个方面进行展示和处理, 并且能够通过网络为用户提供数字化的效果展示、细节研究、教育等服务, “摆脱了传统意义上时间与空间的限制, 具有存储数字化、获取网络化、资源共享化、展示多样化、管理计算机化等特点。”^[2]

2 孔庙祀典乐舞的特点分析

孔庙祀典含有浓重的政治色彩, 这是由于历代的统治阶层均乐于将孔庙祭祀乐舞作为宣扬封建礼仪的脚本, 用于向世人灌输三纲五常之伦理。

抛开其政治及宗教因素, 孔庙祀典乐舞无疑是我国古典乐舞中的珍品。在乐器配置上, 有埙、箏、瑟、祝、编钟、箫、笛、笙和杂鼓。其乐曲有迎神之《昭平》、初献之《宣平》、亚献之《秩平》、终献之《叙平》、彻饌之《懿平》、送神之《德平》六个章节构成, 前后衔接、构成了一个完整的系列^[3]。

在舞蹈方面, 自南北朝时期, 孔庙祭祀用的“轩悬之乐”和“六佾之舞”被定为永久法规, 后又升级到八佾。古代舞者, 六佾舞是6人—列一行, 共36人, 八佾舞为8人—列一行, 共64人。从队形上看, 六佾舞或者八佾舞都是称为左右对称的正方形, 左右各四行向各自方向移动, 中间空出留给拜祭者行走, 这种对称的格局下, 动作变化就显得有些单调, 主要是邻近两行之间的相对或相背而舞。

在祭孔仪式中, 祭孔乐舞虽然由于朝代的不同, 跪拜的舞蹈仪式均有不同, 但是基本上都有一个定律, 即为每一乐章的结尾均是跪拜动作, 下一乐章开始再重新起舞。祭孔乐舞的两个重要手执道具就是“龠”和“翟”。“龠”是古代乐器的一种, 状如竹笛。“翟”是指长尾山雉, 乐舞用的是雉尾。那么在乐舞中跪拜的行为及手执道具行为的配合是极其严格和明确的。

“左手执龠, 右手秉翟”, 在明代祭孔乐舞舞谱中记载, 诗文最后一句为“庶幾昭格”, “昭”和“格”在动作文字记录中就有跪拜之意, “昭”为“正面、躬身俯首, 籥横执于头前, 翟倒植至地, 籥翟如十字。”“格”字

为“正面蹲, 俯首, 籥横执于头前, 翟植, 籥翟如十字”。就是说在跪拜时, 龠和翟要举过头顶, 在头顶摆成90°的十字交叉状。那么可以看出, 跪拜的身体动作, 是一种对于逝者的缅怀之情深刻表达的肢体语言, 五体投地时, 四肢和头都着地, 上肢尽量前伸过头顶, 此时的所持的乐舞道具, 也是需要跟随整体的情绪, 配合情绪表达情感^[4]。

了解了孔庙祀典乐舞的特点之后, 在进行数字化仿真时就能够尽量做到还原原型。本系统所仿真的孔庙祀典, 采用的是6人—列一行, 共36人, 排列为正方形。在乐舞动作仿真时, 利用真人模拟“昭”“格”等的动作, 包括身体、手臂的动作, 利用动作捕捉系统采集动作信息, 导入计算机中, 再将三维动画软件制作的龠和翟单独加入到虚拟人物手中, 配合整体的乐舞动作。最后将具有流畅动作的人物信息, 与虚拟场景进行融合, 完成孔庙祀典的数字化^[5]。

3 孔庙祀典数字化实现的技术分析

3.1 动作捕捉技术

从根本上说, 动作捕捉技术的实质就是测量、跟踪、记录物体在三维空间中的运动轨迹。典型的运动捕捉系统一般包括传感器、信号捕捉、数据传输及处理设备。传感器是固定在运动物体特定部位的跟踪装置, 它能够向系统提供运动物体的运动位置信息; 信号捕捉设备负责对运动物体位置信号的捕捉, 例如机械式运动捕捉系统的用于捕捉电信号的线路板, 光学动作捕捉系统的高分辨率红外摄像机; 数据传输处理设备将大量的运动数据从信号捕捉设备传输到计算机系统, 然后修正、处理传输的数据, 并与三维模型结合完成运动动画的制作^[6]。

本文项目使用的是光学动作捕捉系统, 它是基于计算机视觉原理^[7], 也就是说当空间中一个点只要能同时被两台摄像机所见, 就能够确定该点的空间位置, 如图1所示, 对于实际空间物体上的点P, 用摄像机C1观察得到成像点P1, 用摄像机C2观察P得到成像点P2, 此时便可得知P是PP1和PP2的交点, 则P的空间三维位置就确定了。

光学动作捕捉系统是在被测目标身上的一些关键部位设定特定高反光光点, 利用系统的高分辨率的红外摄像机以足够快的速率进行连续的拍摄, 以图片序列的方式记录高反光光点的运动轨迹, 以此来实施跟

踪动作捕捉的任务，如图 2 所示。

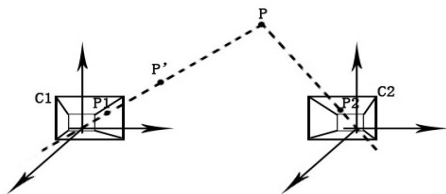


图 1 计算机视觉原理

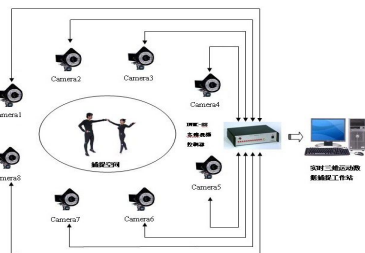


图 2 光学式运动捕捉系统

由此可以看出，在光学动作捕捉系统中的高感光摄像机的台数越多，其能够捕捉到的动作数据也就越准确。因此，在进行孔庙祀典数字化中，模拟祀典舞蹈动作的真人模特，穿上黑色紧身服装，同时在身体的头部、手肘、腰部、膝盖、脚跟处都贴上反光点（如图 3 所示），在摄像机组成的空间中，将祀典乐舞的每个动作都如实地进行规范化地表演，通过一系列的头部、手部、身体的运动，每一个用作标记的反光点都会被记录下一个完整系列的空间运动数据，而计算机通过对每组数据的运算解析，就能够得到这些空间中点运动轨迹，最后将这些运动轨迹赋予计算机制作的虚拟人物时，就能够产生一个完整的人物运动结构图，如图 4 所示。



图 3 祀典乐舞动作采集

3.2 角色骨骼蒙皮技术

孔庙祀典的数字化实现，采用 Maya 软件建立祭孔舞者的三维模型，建模的技术以多边形建模为主。空间中任何一个形体都可以转化为 N 个三角形的组

合，这些三角形就是多边形建模技术中“面”的概念，其下就是“顶点”和“边线”，那么，多边形建模的精髓就是通过调整“顶点”、修改“边线”来完成“面”的排列组合，进而实现三维模型的建立。

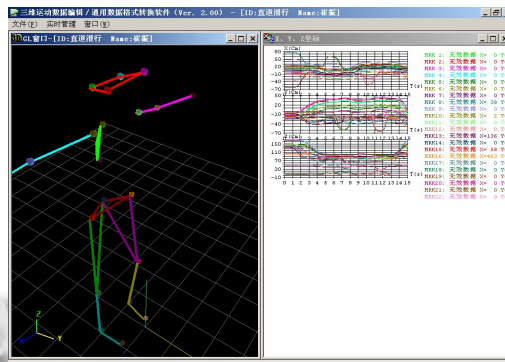


图 4 运动捕捉结构图

骨骼动画是在为模型建立相互连接的类似于人体骨骼的结构，通过改变骨骼节点的朝向和位置来控制模型的动画。角色骨骼动画需要将模型的表面“附着”到骨骼上，使得骨骼的运动能够影响模型的表面动作，这个过程通常被称为“蒙皮”。骨骼的蒙皮方式有多种，包括刚性蒙皮、简单蒙皮、光滑蒙皮以及肌肉蒙皮。在这几种方法中，肌肉蒙皮的效果最好，它可以模拟真实皮肤的形变和肌肉的变形，但由于本项目中使用的是 UDK 游戏引擎，UDK 目前还不支持肌肉蒙皮的效果。因此，我们采用了 UDK 所支持的光滑蒙皮方法。

光滑蒙皮实际上是简单蒙皮算法的改进算法。使用简单蒙皮方法，每一个顶点只能受一个关节的影响，而使用光滑蒙皮的方法，每一个顶点可能受到多个关节的影像，而且每个关节的影响力 w 不一样^[8]。最后，顶点的位置是多个骨骼在不同影响力 w 的总和的平均值，如图 5 所示。比如说手的肘部皮肤，不仅受到肘关节的影响，还受到肩部关节的影响。在实际应用中，一个顶点一般只受两个关节的影像，最多不超过四个。

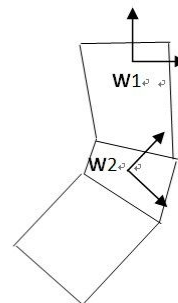


图 5 光滑蒙皮的多个受力

设一个顶点受到 n 个不同关节的影响, 每个关节的影响权重为 w_n , 为了防止顶点的形变过于剧烈, 所有关节权重的总和被限定为 1, 即:

$$\sum w_i = w_0 + w_1 + w_2 + \dots + w_{n-1}$$

要计算经过骨骼变换后的位置, 需要将所有影响骨骼的世界坐标变换矩阵作用于顶点, 乘以各自骨骼的权重后, 求和, 即

$$v' = \sum v * w_i * B^{-1}_{[i]} M_i$$

其中 v 是没有变形之前的顶点在角色本地坐标中的空间。 M_i 是骨骼的世界坐标变换矩阵, w_i 是骨骼的影像权重值, $B_{[i]}$ 被称为绑定矩阵, 此矩阵的作用是将顶点从关节的本地坐标空间变换到角色皮肤空间, 那么 $B_{[i]}$ 逆矩阵 $B^{-1}_{[i]}$, 就会将顶点从角色的皮肤空间变换到本地坐标空间。所以 $B^{-1}_{[i]} M_i$ 的作用是将顶点先从皮肤空间变换到关节的本地坐标空间, 然后再变换到世界坐标空间中。为了方便计算, 我们可以先计算每一个关节的 $B^{-1}_{[i]} M_i$ [9,10]。

通过以上的计算, 可以调整使得祭孔乐舞的虚拟人物模型的表面在表演舞蹈动作中不会出现类似于胳膊硬性折叠的情况, 可以保证每个动作下虚拟人物的表面都是光滑的, 能够最大限度地达到真实地再现仿真效果。

4 祭孔乐舞动作数据的后期处理及UDK动作库的建立

当乐舞的动作数据被采集下来以后, 就要对其进行后期的处理。这时候运动数据还不能够被正确应用到模型身上, 因为这些动作数据只是标记点的空间位置信息, 还不是模型骨骼的旋转角度信息。

将标记点的运动数据转换成骨骼的运动数据信息是通过 Motion Builder 来完成的, Motion Builder 是一种三维动画实时生成软件。在 Motion Builder 中, 首先将跟踪点的数据附着到 Motion Builder 的 Puppet 物体上, Motion Builder 会自动将跟踪点的空间位置变换信息转换成 Puppet 物体的骨骼旋转动画。之后, 将需要附着动画的角色从 Maya 导出成 Fbx 格式并导入到 Motion Builder 中, 并在 Motion Builder 中建立 Character 节点, 将角色身体的各个部分影射到 Puppet 物体相对应的部位。这样, Puppet 物体运动的时候, 就可以带动角色运动了。

在输出角色骨骼运动数据的时候, 需要先将角色

的运动信息进行一个烘焙, 并进行平滑处理, 这样输出的模型才会拥有比较平滑的动画的信息。MotionBuilder 通过 Fbx 文件, 为 Maya 提供了一个方便快捷的调整运动捕捉数据的通道。

完成运动数据的后期处理以后, 需要在 Maya 中进行整理。这个整理过程包括: 1. 清除不必要的运动信息, 使骨骼关键帧的数目尽可能减少; 2. 把不同动作的运动数据进行命名, 方便在 UDK 中进行动作的组合处理。

在 Maya 中可以通过 Reduce Curve 的命令对运动数据进行清理, 但这一过程可能会改变关键帧的切线形状, 因此需要通过手动调整的方法使关键帧的过渡得更自然。在精简关键帧以后, 把动作分组, 比如说起始动作放在 0-50 帧的位置, 跪拜动作放在 50-250 帧的位置。

到此为止, 就可以准备向 UDK 中输出模型、骨骼和动画集了。UDK (the Unreal Development Kit)——虚拟游戏引擎, 是 Epic 对外发布的虚幻 3 引擎的免费版本, 具有强大的游戏开发功能。UDK 对骨骼模型的输出有几个严格的规定: 1. 骨骼模型必须只有一个层次结构, 即只有一个树形; 2. 骨骼模型必须使用光滑蒙皮; 3. 运动集中的各个动画必须进行分别导出。因此这些都需要提前在 Maya 软件中做好。

导出模型、骨骼和动画集以后, 就可以在 UDK 中制作动画效果了。UDK 中的动画效果播放有两种方式: 使用 Matinee 和使用 AnimTree。Matinee 可以让游戏设计者直接在场景中播放任意的动画, 并拥有将角色动画集中的动画按任意顺序和速率进行混合的能力。而 AnimTree 则更适用于人工智能的角色, 使用 AnimTree, 角色可以根据运动速度、运动方向、角色状态等等条件自动选择动画集中的动画。在本项目的实现中, 暂不需要使用复杂的人工智能角色, 因此只需要使用 Matinee 就可以了。以下是最终的制作效果。

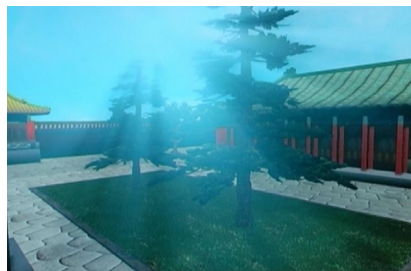


图6 孔庙环境模型

(下转第82页)

4 结语

在对通讯类电子产品供应链特点及流程分析的基础上,总结6类影响系统稳定运行的风险因素。利用Petri网的相关知识,建立了便于实现的通讯类电子产品供应链图形化直观主体机理模型。采用应用广泛的Matlab仿真软件,利用Simulink环境下的Stateflow工具设计实现了所建立的Petri网模型中的状态转化逻辑分析模块。通过仿真分析,表明所设计的仿真系统运行结果与实际系统运行对风险因素的分析具有良好的 consistency。这样,通过输入系统运行状态信息,合理设置仿真时间周期,可实现对通讯类电子产品供应链的风险仿真分析。

基于本文的研究基础,探索通讯类电子产品供应链Petri网模型的定量风险预测及风险评估是后续进一步的研究方向。本文所提及的设计方法,也为其他类型供应链的仿真研究提供了可供借鉴的研究思路。

参考文献

- 1 史成东,边敦新,苏菊宁.基于粗糙集和灰色的供应链知识共享风险预警.计算机工程与应用,2008,44(1):19-22.

- 2 李长坤,王秀海.基于BP神经网络的供应链知识共享风险预警体系研究.科技管理研究,2009,4:191-193.
- 3 Tuncel G, Alpan G. Risk assessment and management for supply chain networks: A case study. Computers in Industry. 2010,61(3):250-259.
- 4 王文宾,达庆利.基于广义随机Petri网的再制造供应链建模与性能分析.系统工程理论与实践,2007,12:56-62.
- 5 薛伟莲,王蕾.基于Petri网的零售企业与供应商信息共享平台建模与分析.计算机系统应用,2011,20(5):154-157.
- 6 晚春冬,王雅林,齐二石.供应链系统风险识别与评估研究综述.哈尔滨工业大学学报,2007,(6):93-98.
- 7 杨志华.供应链中的“牛鞭效应”的分析.中国集体经济. 2010,(1):88-89.
- 8 朱伟,尧飘海,鲍陈,张云华.基于Petri网的自动售货机销售系统建模及验证.计算机系统应用,2008,(12):2-5.
- 9 袁崇义.Petri网原理与应用.北京:电子工业出版社,2005.
- 10 贾秋玲,袁冬莉,栾云凤.基于MATLAB7.x/Simulink/Stateflow系统仿真、分析及设计.西安:西北工业大学出版社,2006.

(上接第154页)



图7 孔庙祀典乐舞场景

5 结语

本文通过研究孔庙祭祀保护的现状以及孔庙祀典乐舞舞蹈的特点,利用数字化的文物保护方法,提出了在动作捕捉系统平台上对孔庙祀典进行数字化再现;不仅对动作捕捉技术进行了详细的技术分析,同时还介绍了三维动画制作的步骤,基本实现了祭孔祀典的数字化。希望通过这些技术的应用,能实现对更多传统文化的数字化保护,将传统文化完整的保存和传承下去。

参考文献

- 1 李申.孔庙祭祀的历史沿革.《与孔子对话——新世纪全球

文明中的儒学》——上海文庙第二届儒学研讨会论文集. 2004,10:276-294.

- 2 吕德生.孔庙祭祀的数字化再现研究.科技创新导报, 2008,11(33):193.
- 3 王赛时.古代孔庙的祭祀乐舞.文史杂志,1987,6:47-48.
- 4 孙茜.祭孔乐舞舞蹈动作特点分析.南京艺术学院学报,2010,3:167-170.
- 5 李长山.虚拟现实技术及其应用.北京:石油工业出版社,2006. 66.
- 6 香港特新科技有限公司.光学动作捕捉系统—Motion Capture.电视字幕.特技与动画,2001,(11):56-57.
- 7 吴健康,肖锦玉.计算机视觉基本理论和方法.合肥:中国科学技术出版社,1993.16-17.
- 8 谭同德,张关锋,赵新灿,赵硕.基于骨骼蒙皮的虚拟人运动仿真.微计算机信息,2009,25(11):30-32.
- 9 李连东,樊养余,雷涛,吕国云.一种可编辑的三维人体蒙皮网格动画合成方法.计算机应用研究,2010,27(3):1176-1179.
- 10 王洪福,陈雷霆,李东魁.三维图形引擎中骨骼蒙皮动画的一种实现方法.计算机应用研究,2006,(12):349-350.