

引用格式: 方雄兵, 陈颖, 李涛涛, 等. 舰船虚拟维修仿真应用系统的设计与实现[J]. 中国舰船研究, 2016, 11(6): 136-144.
FANG Xiongbing, CHEN Ying, LI Taotao, et al. Design and implementation of the ship virtual maintenance simulation application system[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2016, 11(6): 136-144.

舰船虚拟维修仿真应用系统的设计与实现

方雄兵¹, 陈颖², 李涛涛¹, 林锐¹

1 中国舰船研究设计中心, 湖北 武汉 430064

2 中国船舶工业集团公司 电子科技有限公司, 北京 100070

摘要: 虚拟维修技术对于舰船、航行器等复杂装备的维修性设计与分析具有重要意义。详细分析舰船维修性设计对于虚拟维修仿真的应用需求, 在此基础上提出一种面向舰船虚拟维修仿真应用系统的架构, 设计该系统的组成及各模块功能。该应用系统架构包括数据层、功能层、接口层及用户界面层4个层次: 在数据层, 可实现数据的数据库存储和本地存储; 在功能层, 设计了多个仿真数据管理功能、运动捕获数据处理功能以及可视性、可达性和舒适性等多个高级分析功能; 在接口层, 提供了与Teamcenter(TC)平台的数据集成功能, 可实现从TC下载舰船JT模型至仿真系统中, 以及将仿真结果和场景文件等上传至TC; 在用户界面层, 设计了人性化的系统操作界面, 可实现客户与系统之间的友好交互和操作。最后, 结合Jack仿真软件, 实现舰船虚拟维修仿真应用系统的原型, 该原型系统为开展舰船虚拟维修仿真数据的管理与应用以及运动捕获技术在虚拟维修中的应用奠定了基础。

关键词: 舰船; 维修性设计; 虚拟维修; 仿真基础库; 运动捕获

中图分类号: U672.7

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1673-3185.2016.06.020

Design and implementation of the ship virtual maintenance simulation application system

FANG Xiongbing¹, CHEN Ying², LI Taotao¹, LIN Rui¹

1 China Ship Development and Design Center, Wuhan 430064, China

2 CSSC Electronics Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China

Abstract: The virtual maintenance technology plays a vital role in the maintainability design and analysis of complex equipment, including ships and aircraft. In this paper, the application requirement of virtual maintenance simulation is analyzed in detail and an application system framework for ship maintenance simulation is put forward aiming at these demands. The system constitution and the functions of its all modules are elaborated. Specifically, the framework consists of four layers, i.e. data tier, function tier, interface tier, and UI tier. In the data tier, the storage of data with database or local folders is achieved. In the function tier, the management functions for several types of simulation data, the processing function for motion capture data, and the advanced analysis functions for visibility, accessibility, and comfort are devised. In the interface tier, the data integration function with the Team center (TC) platform is provided, which can download ship JT models from TC to the simulation system and upload simulation results and scene files to TC. In the interface tier, the humanization of interface is designed to optimize the interactive operation between users and the system. Finally, a prototype of ship virtual maintenance simulation application system is developed based on the Jack software. The implemented system lays foundation for ship virtual maintenance simulation data management as well as the utilization and the application of motion capture technique in virtual maintenance.

Key words: ship; maintainability design; virtual maintenance; simulation basal library; motion capture

收稿日期: 2015-09-10

网络出版时间: 2016-11-18 15:19

基金项目: 中国舰船研究设计中心研发基金资助项目; 国家部委基金资助项目

作者简介: 方雄兵(通信作者), 男, 1983年生, 博士, 工程师。

李涛涛, 男, 1988年生, 硕士, 助理工程师。



0 引言

虚拟维修技术对于复杂装备,特别是缺乏物理样机的装备维修性设计和后期的维修、维护(维修训练、维修作业指导等)具有重要价值。虚拟维修技术从维修性可视化技术发展而来,并逐渐在复杂系统设计和人员训练方面得到深入研究和广泛应用,如早期美国空军集成到若干CAD系统中的CREW CHIEF维修人员模型、Armstrong实验室的维修性分析和后勤信息分析(DEPTH)项目、美国哈勃望远镜维修训练项目等。

为解决大型复杂武器装备维修性评估或试验严重依赖物理模型或样机、维修性分析技术严重滞后于研制进程、不能实现与工程研制并行等难题,美国从20世纪80年代开始研究基于计算机辅助设计的维修性可视化设计分析技术。国内科研机构和军工行业也面临着上述与国外同样的问题,并开展了大量的研究工作^[1-4]。

国内研究人员在虚拟维修仿真系统设计与应用方面开展了广泛研究。柳辉等^[5]设计了基于虚拟维修仿真的维修性分析系统框架。彭晓军等^[6]设计并实现了一套基于本土化虚拟人的虚拟维修人素分析系统,包括虚拟人控制、虚拟样机建模、人体建模、人素分析、维修工具库、分析结果数据输出等功能模块。朱文革等^[7]提出了复杂装备虚拟维修系统总体方案,该方案集成了远程虚拟测试和控制系统,在进行维修分析决策时,融合了知识工程方法,并研究了基于组件技术的多层次体系架构,可快速构建新的虚拟维修系统。在航空航天领域,王占海等^[8]研究了基于Catia或Delmia软件的飞机维修性分析与验证流程,以及可达性、可视性等的定量分析方法。陈科等^[9]开展了基于Delmia软件的雷达天线转台维修仿真应用系统与技术研究。刘钊钊等^[10]提出了一个面向航空装备的虚拟维修系统体系结构,并基于Delmia软件实现了该系统,建立了包括维修环境创建、维修仿真、维修性分析、评估与报告、数据管理与维护等5个功能模块,可实现虚拟维修仿真的全套过程。杨云斌等^[11]给出了沉浸式虚拟维修环境的组成,以及基于数字样机的虚拟维修系统总体框架。田富君等^[12]研究了雷达结构虚拟维修系统体系结构和功能模型,并对虚拟人体建模与手势识别、干涉检查、交互式维修电子手册生成等技术进行了研究。李伟等^[13]研究了载人航天器虚拟维修流程、环境构建方法及其在Jack和Pro/E软件环境中的实现方法。

在舰船领域,李佳^[14]研究了基于Catia和Delmia的船舶维修性验证系统的实施技术路线,给出了船舶维修性验证模型、验证内容及流程。张平等^[15]从舰船维修性设计与总体设计并行的高度出发,阐述了通过维修设计编制舰船基地级维修资料的解决途径和方法。上述两项工作为理解虚拟维修技术在舰船维修性分析和设计中的主要应用阶段和应用模式提供了参考。总体来看,舰船行业的维修性仿真验证工作水平落后于航空航天等行业,现有研究工作缺乏对舰船维修性仿真验证的系统研究,如在舰船零部件数量巨大的背景下,如何实现维修样机建模、数据管理和仿真过程模拟、评估和分析、结果管理等。

本文将在相关研究工作的基础上,结合实施PDM以及三维轻量化模型的管理和工程应用现状,分析舰船虚拟维修仿真的应用场景、方式及全过程中的需求,研究并提出一种舰船虚拟维修仿真应用系统的架构及其功能模块组成。最后,基于Jack仿真软件实现所提出的应用系统原型。

由于文献[2-4]已对虚拟维修技术的内涵与定义做了分析和讨论,本文不再赘述,而是重点研究舰船虚拟维修仿真的数据管理、数据应用和数据集成方面的需求。

1 舰船虚拟维修仿真应用需求分析

1.1 虚拟维修仿真典型应用场景

文献[4]对虚拟维修的一般步骤进行了总体提炼,在此基础上,舰船等复杂装备维修性仿真的典型应用场景可以描述如下:

- 1) 技术人员根据维修对象及维修任务的安排,收集和整理相关维修用的资料及模型数据。
- 2) 在仿真软件中调入维修对象及其背景模型的三维模型(如JT格式或VRML格式),并以此构建面向维修任务的仿真模型。
- 3) 在仿真场景中加入虚拟人体模型(可考虑建立人体模型库),控制或设置虚拟人维修操作动作,模拟真实人员完成相应操作过程。依据维修性分析与评估体系,开展可视性、可达性、舒适性、疲劳、受力以及空间分析等,实现不同层次的维修性分析与仿真验证。
- 4) 根据上述仿真分析的结果,由系统或人工生成相应的维修性仿真评估报告,并上传至相关维修性分析与管理平台。

另一方面,前期已开展了大量关于从CAD系统(Foran软件)导出JT的方法、JT的结构化管理

及可视化分析应用工作,实现了JT模型的导出、管理与可视化应用的技术路线,构建了一套三维轻量化模型的管理系统。如何进一步将舰船JT模型与该轻量化模型管理平台应用于虚拟维修,解决舰船在维修性仿真中存在的主要问题,这些对维修性设计具有重要意义。

1.2 舰船虚拟维修仿真流程及需求分析

根据舰船虚拟维修仿真应用场景的描述和现有工作的基础,对舰船虚拟维修需求进行分析。舰船虚拟维修仿真一般流程如图1所示。

从应用角度看,一个较为完整的舰船虚拟维

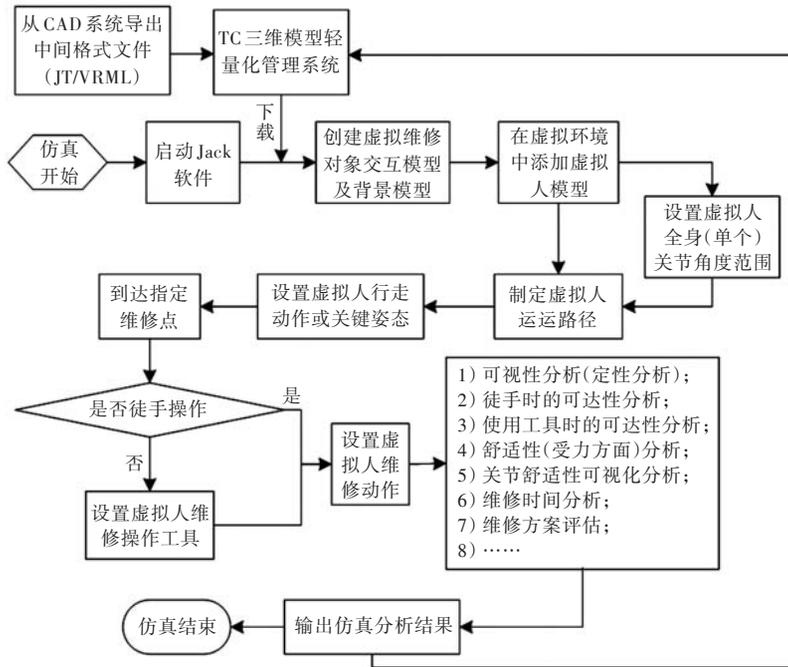


图1 舰船虚拟维修仿真一般流程

Fig.1 Generic flow chart of the ship virtual maintenance simulation

修仿真系统需要具备以下11个主要功能:

1) 导入维修对象及背景CAD三维模型。目前Jack或Delmia软件具备导入多种格式的三维数据的功能(如JT或VRML等),而维修对象及其背景的CAD三维模型已从CAD系统导出为JT格式,这些JT模型存在于以Teamcenter(TC)为基础构建的三维轻量化模型管理系统中,因此需要实现从该系统下载JT模型的功能。

2) 维修对象仿真模型构建。基于原始CAD三维模型,实现面向维修性仿真的对象模型创建,如交互特征建模^[16],此功能可在仿真软件基础上进行二次开发。

3) 导入虚拟人模型。人体模型尺寸与生理特性对于仿真相关指标会产生一定影响,因此,可考虑基于最新统计数据开展中国人人体模型生成的研究与开发,形成中国人人体模型库。对于要求不高的情况,也可直接修改仿真软件中现有的数字人体参数,实现虚拟人定制。

4) 设置虚拟人维修工具。舰船维修工具和设备种类多,为满足舰船虚拟维修的要求,可建立

较为完备的维修工具和设备库,实现各类工具的统一管理与重用。

5) 设置虚拟人行走或者维修动作。现有仿真软件依赖逐帧调整关节自由度的方式难以实现虚拟维修人员操作动作的快速设置,可开发典型的维修仿真动作库,便于维修仿真过程中重用,提升动作设置的逼真度和效率。

6) 设置虚拟人维修姿态。现有仿真软件提供了少量常见姿态,可在此基础上开发维修仿真姿态库,添加更多维修关键姿态,提高虚拟人维修姿态设置的效率。

7) 可视性、可达性和舒适性分析。现有仿真软件提供了定性分析功能,可结合舰船虚拟维修仿真特殊需求,如狭小空间的可视性与可达性分析、使用维修工具时的可达性分析等,开发实用的高级分析工具。

8) 设置虚拟人关节范围等参数。为便于可视性、可达性和舒适性等指标分析,可对虚拟人全身或部分关节的自由度大小进行必要设置。

9) 维修时间分析。现有仿真软件未提供维

修时间的分析方法和功能,这方面的工作较困难,可做进一步的研究开发。

10) 维修性分析和评估。结合舰船研制,从不同层次,结合各种指标对舰船产品进行整体维修性分析和评估,形成舰船维修性分析和评估体系,这方面的工作需要深入研究,并通过软件工具实现。

11) 仿真结果输入与管理。将仿真结果(报告、仿真动画等)以及仿真场景文件等上传至数据管理平台进行管理。

对于上述功能,尤其是如何快速、逼真地让虚拟人模拟真实维修人员完成指定的维修任务和动作,是实际仿真工作中的重点与难点。为实现提高虚拟人动作和姿态的仿真效率与逼真度,可采用离线方式将真实人体运动捕获数据(以下称“动捕数据”)应用于虚拟人^[17],在人机工程仿真软件基础上,开发基于动捕数据的虚拟人动作库和姿态库,用户利用这些仿真基础库完成维修动作和姿态的快速设置。

从仿真全过程涉及的要素来看,除上述需求外,还包括CAD三维系统导出的中间格式三维模型文件管理与可视化、维修任务管理、维修性仿真分析和评估的结果生成与管理等现实应用需求。此外,现有仿真基础软件侧重于数据的应用,而对于数据的管理方面,特别是三维数据的管理,需要将基础仿真软件与相关数据管理平台进行集成和开发。因此,上述需求可以初步分为数据管理需求、功能需求以及接口需求等。

2 舰船虚拟维修仿真应用系统设计

2.1 系统架构设计

Jack 软件具有开放的接口,易于开发,是较为理想的虚拟维修仿真平台。结合Jack软件现有功能和上述舰船虚拟维修仿真应用需求,设计了面向舰船虚拟维修仿真的系统架构,如图2所示。

本文设计的架构分为数据层、功能层、接口层和用户界面层4个层次:数据层解决仿真基础数据的存储方法;功能层支撑整个仿真过程中的各类数据的获取、访问、创建、管理与应用工作;接口层负责仿真系统与轻量化模型管理系统等的数据集成;用户界面层主要提供仿真人员使用该系统的操作界面。

该架构从仿真全过程应用的需求出发,充分考虑了维修性仿真中输入数据的管理、仿真过程模拟、仿真结果数据与过程数据管理的需求,以及舰船行业实施PDM和轻量化模型应用的现实基

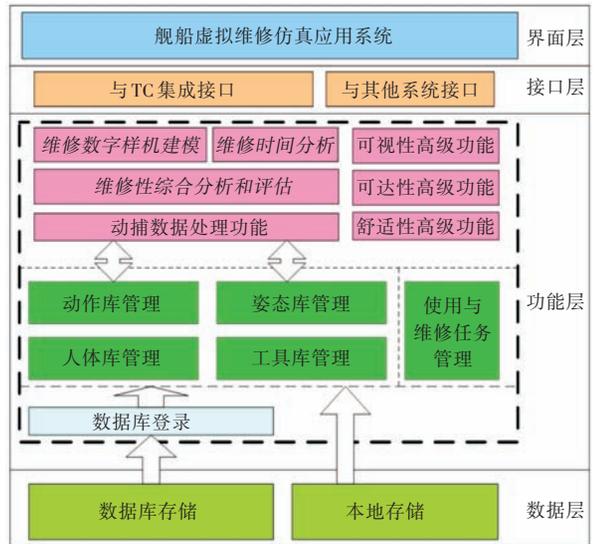


图2 舰船虚拟维修仿真应用系统架构

Fig.2 Infrastructure of the ship virtual maintenance simulation

础,充分利用了TC管理数据的强大功能和仿真软件管理与使用的基础数据应用的需要。

2.2 系统模块组成与功能设计

结合图2中的系统架构和当前的研究基础以及仿真需求,提出系统包含的模块及其功能设计。图2中斜体字表示的部分功能将在未来进一步开展研究。

2.2.1 系统功能模块结构图

舰船虚拟维修仿真系统应满足数据管理、数据应用和数据集成3个方面的功能需求,功能模块如下:

- 1) 数据管理。包括仿真基础库管理(人体库、动作库、姿态库、工具库)、仿真任务管理、本地个性化数据管理。
- 2) 数据应用。包括人体动捕数据处理、仿真基础数据的获取与使用。
- 3) 数据集成。包括仿真输入数据(JT或场景文件)下载与加载、仿真结果上传与管理。

本文设计的系统功能模块结构图如图3所示。

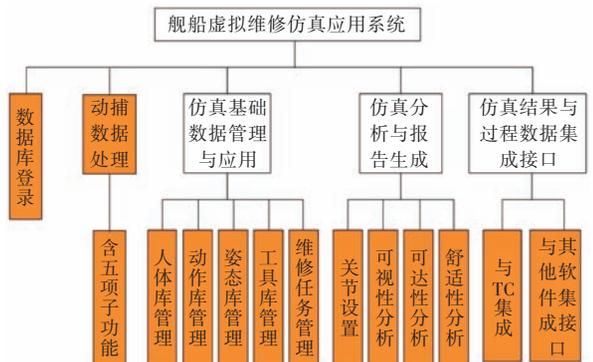


图3 舰船虚拟维修仿真应用系统功能模块结构图

Fig.3 Function structure of the ship virtual maintenance simulation application system

2.2.2 系统功能设计

本节对图3列出的模块功能设计进行描述。

1) 数据库角色登录。

普通用户选择并登录“数据库角色登录”模块后,可在数据库中调用人体库、动作库、姿态库、工具库中的共用数据。管理员登录数据库后,可对上述库中的数据进行维护。当用户选择不登录数据库时,则可使用、修改本地文件夹中的个人仿真数据,如人体模型、动作数据等,以满足个性化需要。

2) 人体库管理。

提供对定制海军人体模型、常用人体模型和中国人标准人体模型库的管理功能或接口,包括人体模型几何文件与属性信息的创建、录入、编辑、删除、修改、加载等。

3) 动作库管理。

提供动作分类树建模、动作数据及其属性录入、修改、查询和动作属性编辑以及动作加载、移除等功能。

4) 姿态库管理。

提供姿态分类树建模、姿态数据及其属性录入、修改、查询和姿态属性编辑以及姿态加载、保存、移除、关键关节数据输出等功能。

5) 工具库管理。

提供维修工具分类树建模、工具数据及其属性编辑、查询以及维修工具的使用等功能。用户可根据需要的分类方式,创建维修工具的树形组织管理模式。

6) 维修任务管理。

提供维修任务打开及编辑功能,打开界面中提供了按名称、编号及描述的关键字匹配的查询方式。编辑界面中除上述查询功能外,还提供了任务分类树建模及任务节点属性(名称、编号、描述信息)的修改功能等。打开及编辑的维修任务文件为.xml格式,保存于本地文件夹中。

7) 动捕数据转换。

提供静态BVH(单帧BVH数据)转姿态、动态BVH(连续多帧BVH数据)转动作、2个姿态生成动作、生成过渡动作及对特定子序列帧提取等操作。这些操作可对标准的BVH动捕数据进行转换并由姿态库与动作库使用。各子功能设计如下:

(1) 静态BVH转姿态。将只有1帧数据的BVH文件转换为Jack软件的.post文件。

(2) 动态BVH转动作。将含有多帧数据的BVH文件转换为Jack软件的_chset.env格式的动作文件。

(3) 姿态生成动作。选择2个姿态并设置之

间的时间间隔,插值生成一段动作文件。

(4) 生成过渡动作。选择2个动作文件(_chset.env格式),设置中间间隔时间,可生成一段中间动作并与上述2个动作合成为1个动作文件。

(5) 提取关键帧。根据输入的特定子序列帧的编号,提取相应的帧,并生成相应的BVH文件,即实现BVH文件的切割和提取。

8) 可视性高级功能。

舰船结构复杂、设备繁多,很多维修任务都是在狭小空间中完成的,对于维修部位的可视性、可达性分析显得尤为重要。针对Jack软件在仿真中存在的功能不足,设计了维修部位导向的可视性分析功能和基于人眼生理特性的可视域分区分析功能:

(1) 维修部位导向的可视性分析功能。基于维修部位,生成可视锥,辅助虚拟人进行维修位置、动作与姿态的调整以及维修部位的可视性分析与评估。

(2) 基于人眼生理特性的可视域分区分析功能。基于人眼生理特性,即人眼视域有最大视域、良好视域和最佳视域3个分区,在设计时通常是将对象最常用或最重要的元素(如按钮、数字仪表等)放在(或接近)最佳视域内。基于上述需求,设计了可视域分区分析功能,辅助重要对象的可视性分析与评估。

9) 可达性高级功能。

考虑到舰船维修工作中存在大量的舰员级维修,这些维修通常需要使用维修工具并在狭小受限空间中进行操作,基于上述应用需求设计了使用维修工具情况下的可达性分析功能,对虚拟人使用工具时,工具外沿的可达域进行分析并生成可视体以及仿真报告,辅助维修对象或部位的可达性分析与评估。

10) 舒适性高级功能。

舒适性高级功能包括对姿态的舒适性评价以及对动作的舒适性评估2项子功能:

(1) 姿态舒适性评估。基于选择的舒适性评估准则,对选定的虚拟人姿态进行舒适性评估,对分析结果进行图形可视化。

(2) 动作舒适性评估。基于舒适性评估准则,对选定的虚拟人维修动作(_chset.env格式数据)进行舒适性评估,生成各帧的舒适性图形曲线分析结果。

11) 与基础数据管理平台等系统的接口。

在前期构建了以JT应用为核心的三维模型轻量化管理系统,为实现将该系统中的JT数据应

用于虚拟维修仿真,需要将该系统与 Jack 软件的数据集成。因此,设计了 Jack 软件与该系统的集成接口,功能包括:

- (1) TC 将相关 JT 模型下载至约定文件夹并启动 Jack 软件;
- (2) Jack 软件获取约定文件夹下的 JT 模型或场景文件,用于后续仿真;
- (3) Jack 软件将仿真文件上传至 TC 相应的节点下。Jack 软件与 TC 的数据集成方案如图 4 所示。



图 4 Jack 软件与三维模型轻量化管理系统数据集成方案
Fig.4 Integration scheme of Jack software and 3D light-weight models management system

3 舰船虚拟维修仿真应用系统实现

3.1 系统架构实现

本系统整体架构为客户端—服务器(C/S)模式,基于 Jack 软件进行定制开发,界面采用 Tcl/Tk 语言,功能采用 Python 语言实现。C/S 采用 Twisted 网络架构,后台数据库采用 PostgreSQL 开发。Twisted 是用 Python 语言实现的基于事件驱动的网络引擎框架,它支持许多常见的传输及应用层协议,基于 Python 语言开发,具有异步和事件驱动、开源、易于整合等特点。PostgreSQL 数据库是对象关系型数据库管理系统(ORDBMS),支持大部分 SQL 标准并且提供了许多其他现代特性,如复杂查询、外键、触发器、视图、事务完整性和 MVCC。

3.2 设计流程与步骤

本系统设计流程如图 5 所示。根据仿真基础数据管理(CAD 数据除外)、仿真任务管理与应用需求,对系统的主体功能和界面进行分析与设计,要求风格与 Jack 软件保持一致,且界面为中文。

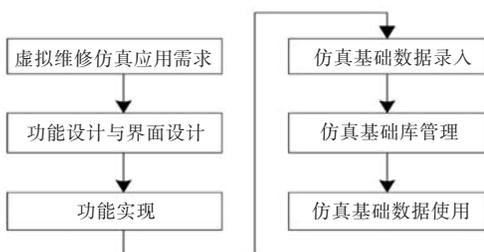


图 5 软件设计流程

Fig.5 Flow of the software design process

完成界面及功能实现后,使用数据库角色登录数据库,开始对人体库、动作库、姿态库和工具库进行充实,形成仿真基础库,并在后续应用中不断充实仿真基础库。

3.3 功能实现

界面及功能代码采用 Tcl/Tk 以及 Python 语言实现。界面程序编辑完成后,在 Jack 软件的 Tcl 控制台窗口中编译,编辑通过后存储在 Jack 软件安装目录下的 jk 2.0 文件夹下。功能代码在 Jack 软件的 Python 控制台下编译,编译通过后以 .pyc 为后缀存储于 script 文件夹中。

为实现 Jack 软件与 TC 的数据初步集成,需要实现将 TC 中的 JT 模型自动导入到 Jack 软件中,如一个舱室版本下的 JT 模型。通过 TC 平台的 API 函数,实现了将 TC 中相应版本的模型自动下载至约定的本地文件夹中并启动 Jack 软件的功能,以及将本地文件夹中的仿真报告、场景文件、仿真动画等上传至 TC 中。

4 系统应用及讨论

4.1 系统应用

4.1.1 系统安装

本系统在使用前,首先需要安装 Jack 软件,然后依次安装 PostgreSQL 数据库和“舰船虚拟维修仿真应用系统”。

4.1.2 使用示例

安装本系统后,在 Jack 软件菜单栏中出现“舰船虚拟维修仿真应用系统”界面,如图 6 所示。部分功能界面如图 7~图 9 所示。图 10 为与舰船三维模型轻量化管理系统数据集成界面。

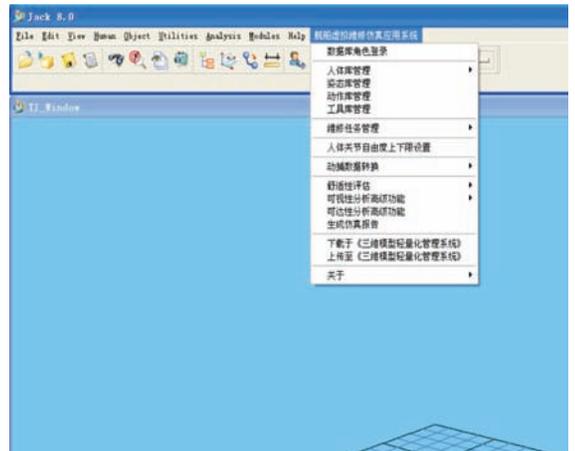


图 6 舰船虚拟维修仿真应用系统界面

Fig.6 Simulation interface of the ship virtual maintenance application system



图7 动作库管理界面

Fig.7 Interface of motion library management



图8 动捕数据处理界面

Fig.8 Interface of motion capture data processing

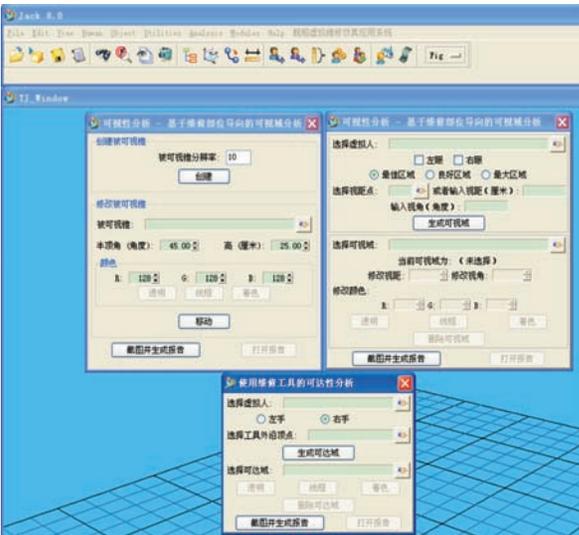


图9 可视性及可达性分析的高级功能界面

Fig.9 Advanced functions interface of visibility and accessibility analysis



图10 Jack软件与三维模型轻量化管理系统数据集成界面
Fig.10 Data integration interface of Jack software and 3D light-weight models management system

下面分别给出开发的“舰船虚拟维修仿真应用系统”中工具库管理子模块以及动态BVH转动子模块的使用示例。

1) 工具库管理使用示例。

(1) 选择图6中的“工具库管理”子菜单,弹出如图11所示的工具库管理子模块界面。

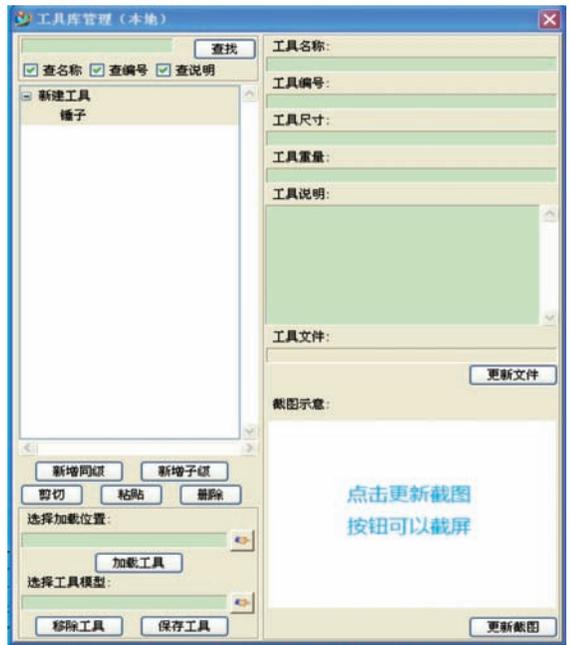


图11 工具库管理界面

Fig.11 Interface of tool library management

(2) 工具库管理模块提供了按名称、编号及说明来查找工具。另外,可以利用新增同级/子级、剪切、粘贴和删除来编辑工具分类树。

(3) 在界面右侧编辑分类树中叶子节点,即工具的名称、编号、重量及说明等信息,利用“更新文件”可更新工具文件。点击更新截图,可以启动截图工具来截取工具图片。

(4) 左侧下方为在场景中添加工具或删除工具操作。方法如下:添加虚拟人至场景,可以选择分类树中的工具,然后是“选择加载位置”,如虚拟人右手,再然后点击“加载工具”,即可将工具加载至虚拟人右手,结果如图12所示。

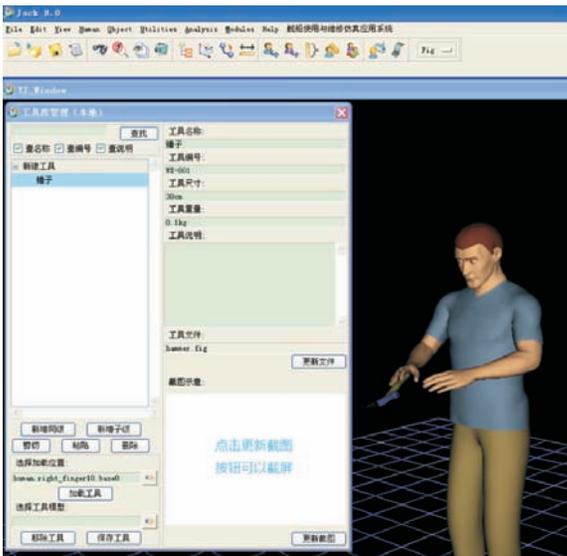


图 12 加载工具至虚拟人右手效果

Fig.12 Effect of loading tool to the right hand of virtual human

上述工具库模块可满足仿真过程中维修工具的管理与使用。

2) 动态 BVH 转动作使用示例。

(1) 选择图 5 中的“动捕数据转换”子菜单,然后是“动态 BVH 转动作”,其界面如图 8 所示。

(2) 具体使用如下:添加虚拟人至场景,利用手型选择按钮选择虚拟人,选择“打开动态 bvh 并转动作”,弹出选择 bvh 文件窗口,选择本地文件夹中的.bvh 动捕文件,后台自动将该文件逐帧转换为 Jack 软件的虚拟人动作,并播放虚拟人运动,转换完成后弹出如图 13 所示的提示界面。

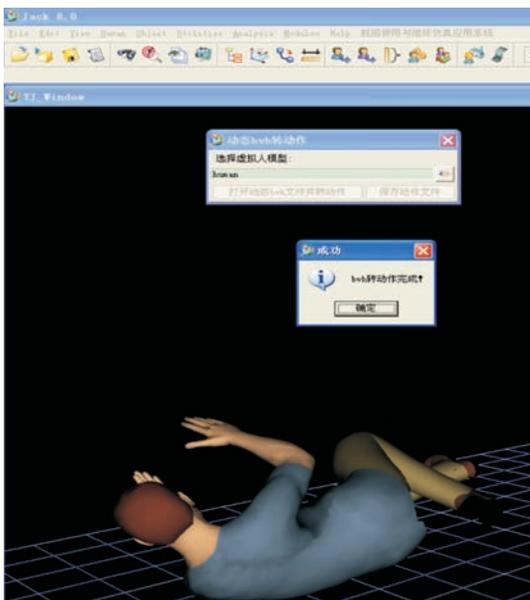


图 13 动态 BVH 格式数据转换为动作文件

Fig.13 Transformation of dynamic BVH format data into motion file

(3) 选择“确定”,并选择动态 BVH 转动作界面中的“保存动作文件”按钮,可将转换后的动作

文件保存为_chset.env 格式的动作文件。

上述动作文件可添加至虚拟人动作库中,创建基于动捕数据的虚拟人动作数据以便于仿真重用。

4.2 讨论

本文结合舰船设计中虚拟维修仿真需求和已有的三维模型轻量化管理与应用基础,设计并实现了舰船虚拟维修仿真应用系统的原型。本文侧重于该系统总体架构的构建和主体功能的设计,从实际使用示例来看,达到了设计的目标,满足了仿真输入数据、过程数据、结果数据的管理与应用需求。部分功能模块的关键技术和算法将另文给出。

按照虚拟维修仿真的一般工作原理及应用系统的功能组成,未来可进一步开展面向虚拟维修的数字样船建模、上肢受约束条件下的可达性分析、舰船维修性分析评估体系等方面的研究,并在本文研究基础上在软件功能层面上实现。同时,还需要不断在工程应用中,充实所开发的人体库、动作库、姿态库和工具库等仿真基础库数据。

此外,也可考虑将本文的研究成果推广至达索公司的 Catia 与 Delmia 软件环境中,利用其提供的 CAA 函数库或 Automation 技术实现,以减少从 Catia 三维设计平台到 Jack 软件的数据转换。

5 结语

本文在分析和总结舰船虚拟维修仿真应用模式和需求的基础上,提出了一种适用于舰船虚拟维修仿真应用系统的架构,包括数据层、功能层、接口层和用户界面层,设计了数据的数据存储和本地存储功能,以满足用户对于数据共享、共用和个性化使用的需求。该系统由 11 个功能模块组成,融入了动捕数据处理技术以及仿真基础数据管理功能,形成了虚拟人动作库等 4 个仿真基础库,并实现了与已有的舰船三维模型轻量化管理系统的系统集成,满足了仿真数据管理与使用方面的功能需求。该系统为进一步开展基于虚拟现实的舰船维修仿真技术研究和工程化应用提供了参考。

参考文献:

- [1] 于永利,郝建平,杨东晓.维修性可视化设计分析技术现状与发展趋势[J].中国机械工程,1998,9(12):41-44.

YU Yongli, HAO Jianping, YANG Dongxiao. CALS and integrated digital data environment [J]. China Mechanical Engineering, 1998, 9(12): 41-44.

- [2] 马麟, 吕川. 虚拟维修技术的探讨[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(12): 2729-2733.
MA Lin, LÜ Chuan. Study on virtual maintenance technology [J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2005, 17(12): 2729-2733.
- [3] 刘佳, 刘毅. 虚拟维修技术发展综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2009, 21(11): 1519-1534.
LIU Jia, LIU Yi. A survey of virtual maintenance technology [J]. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 2009, 21(11): 1519-1534.
- [4] 冉跃龙, 闫英敏, 吕秀平. 虚拟维修技术综述[J]. 电子设计工程, 2012, 20(20): 25-29, 32.
RAN Yuelong, YAN Yingmin, LÜ Xiuping. A review of technologies of virtual maintenance [J]. Electronic Design Engineering, 2012, 20(20): 25-29, 32.
- [5] 柳辉, 郝建平. 基于虚拟维修仿真的维修性分析系统设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2): 378-383, 394.
LIU Hui, HAO Jianping. Design and implementation of virtual maintenance simulation based on maintainability analysis system [J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(2): 378-383, 394.
- [6] 彭晓军, 李焱. 面向人素分析的虚拟维修系统的设计与实现[J]. 计算机仿真, 2008, 25(9): 242-244.
PENG Xiaojun, LI Yan. Design and implementation of virtual maintenance system for human factors analysis [J]. Computer Simulation, 2008, 25(9): 242-244.
- [7] 朱文革, 李世其, 王峻峰, 等. 复杂装备虚拟维修系统设计[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(1): 1-4.
ZHU Wenge, LI Shiqi, WANG Junfeng, et al. Design of the virtual maintenance system for sophisticated equipments [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Nature Science Edition), 2009, 37(1): 1-4.
- [8] 王占海, 翟庆刚, 虞健飞, 等. 考虑工效学的飞机维修性虚拟分析与验证[J]. 中国民航大学学报, 2009, 27(4): 56-59.
WANG Zhanhai, ZHAI Qinggang, YU Jianfei, et al. Maintainability virtual analysis and verification technologies of aircraft considering ergonomics [J]. Journal of Civil Aviation University of China, 2009, 27(4): 56-59.
- [9] 陈科, 彭五四, 张红旗, 等. 基于VR技术的虚拟维修仿真系统设计与应用[J]. 工程图学学报, 2010(6): 125-132.
CHEN Ke, PENG Wusi, ZHANG Hongqi, et al. Design and application of virtual maintenance simulation system based on virtual reality technology [J]. Journal of Engineering Graphics, 2010(6): 125-132.
- [10] 刘钊钊, 田凌, 杨宇航, 等. 航空虚拟维修系统的设计与实现[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(11): 2324-2332.
LIU Beibei, TIAN Ling, YANG Yuhang, et al. Design and implementation of aviation virtual maintenance system [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2011, 17(11): 2324-2332.
- [11] 杨云斌, 何良莉, 陈刚, 等. 基于数字样机的虚拟维修系统总体框架研究[J]. 机械设计与制造, 2012(12): 245-247.
YANG Yubin, HE Liangli, CHEN Gang, et al. Study on whole frame of virtual maintenance system based on digital mock-up [J]. Machinery Design and Manufacture, 2012(12): 245-247.
- [12] 田富君, 张红旗, 陈帝江, 等. 雷达结构虚拟维修系统研究[J]. 机械与电子, 2013(7): 12-14.
TIAN Fujun, ZHANG Hongqi, CHEN Dijiang, et al. Research on radar structure virtual maintenance system [J]. Machinery and Electronics, 2013(7): 12-14.
- [13] 李伟, 赵佳, 张伟, 等. 载人航天器虚拟维修环境的设计与实现[J]. 航天器环境工程, 2014, 31(1): 102-106.
LI Wei, ZHAO Jia, ZHANG Wei, et al. Design and implementation of virtual maintenance environment of manned spacecraft [J]. Spacecraft Environment Engineering, 2014, 31(1): 102-106.
- [14] 李佳. 基于虚拟现实技术的船舶维修性验证系统研究[J]. 中国舰船研究, 2008, 3(2): 70-73.
LI Jia. Research on the maintainability verification system of ship based on virtual reality technology [J]. Chinese Journal of Ship Research, 2008, 3(2): 70-73.
- [15] 张平, 何杰, 王永德, 等. 舰船维修设计概念与流程分析[J]. 中国舰船研究, 2012, 7(4): 6-10.
ZHANG Ping, HE Jie, WANG Yongde, et al. Conception and process of ship maintenance design [J]. Chinese Journal of Ship Research, 2012, 7(4): 6-10.
- [16] 苏振中, 王松山, 江劲勇. 基于Jack的虚拟维修样机交互行为建模方法研究[J]. 计算机测量与控制, 2007, 15(5): 651-653.
SU Zhenzhong, WANG Songshan, JIANG Jinyong. Interaction feature modeling technology for virtual maintenance prototype based on Jack [J]. Computer Measurement and Control, 2007, 15(5): 651-653.
- [17] MULTON F, KULPA R, HOYET L, et al. Interactive animation of virtual humans based on motion capture data [J]. Computer Animation and Virtual Worlds, 2009, 20(5/6): 491-500.