

doi: 10.7690/bgzdh.2016.03.016

基于 Jack 的航空装备虚拟维修性验证研究

张磊, 黄葵, 宋建华

(海军航空工程学院青岛校区, 山东 青岛 266041)

摘要: 为实现对航空装备维修性人因的合理分析, 采用遵循 IETM 技术思想, 基于 Jack 软件的航空装备虚拟维修操作验证方法, 使装备维修人员参与到虚拟维修操作过程中, 实现对装备维修和维修环境的人因评估。结果表明: 该方法能有效地对装备维修性进行人因分析与验证, 对于提高装备研制过程中的维修性、降低开发成本及缩短研发周期具有重要意义。

关键词: Jack; 虚拟维修; 维修性验证

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Virtual Maintainability Validation Research of Aviation Equipment Based on Jack

Zhang Lei, Huang Kui, Song Jianhua

(Naval Aeronautical Engineering Institute Qingdao Branch, Qingdao 266041, China)

Abstract: In order to implement the reasonable analysis of maintainability human factor in aviation equipment, a virtual maintenance operation verification method of aviation equipment is proposed in this paper. This method which is based on the Jack software follows IETM technology thought. It makes equipment maintenance personnel involved in the virtual maintenance operation process and achieves human assessment of the equipment maintenance and maintenance environmental. The research result shows that this method can analyze the human factors and equipment maintainability verification effectively. And it has great significance for improving the maintainability of equipment development and reducing development costs and shortening the development cycle.

Keywords: Jack; virtual maintenance; maintainability verification

0 引言

目前, 将 IETM 应用于航空装备保障训练中, 提供了一种新的培训、训练手段, 使其在降低装备保障费用、提高工作效率和装备的维修性、可靠性和保障性等方面都具有显著的优势^[1]。由于航空装备结构较复杂, 维修工作繁杂困难, 参考技术手册查询相关信息得到的结果不够理想, 效果不够直观, 同时装备维修过程中的每个步骤都很易受到人为因素的影响; 所以将虚拟维修技术结合 IETM 技术直观地表现装备的维修过程, 能够对用户的实际操作和维修步骤起到良好的导引作用, 使装备使用与维修训练人员获取信息的同时更有效地理解信息^[2-3]。

虚拟维修是以计算机虚拟仿真技术来构建虚拟维修环境, 并在其中建立虚拟人体模型、工具模型以及模拟维修作业过程。而装备操作维修性的优劣需要通过虚拟维修模拟训练来有效地验证与评价, 找出影响维修性的因素, 以减小不正确的维修行为对设备造成损坏的风险并及时改进^[4]。传统的操作维修性验证主要依托实装来进行, 然而考虑到装备

匮乏、维修周期和费用等因素, 一些操作维修性验证工作无法开展。基于 Jack 人因工程技术遵循 IETM 技术思想的交互式虚拟维修训练系统, 能够更有效地指导维修人员进行操作训练。基于此, 笔者提出了一种基于 Jack 软件的航空装备维修操作验证方法, 使装备维修人员参与到虚拟维修操作过程中, 实现对航空装备维修性人因的合理分析。

1 Jack 软件简介^[5]

目前, Jack 是一个公认较成功的人体仿真模型与工效评估软件, 最初作为宾夕法尼亚大学人体建模和仿真中心研发项目, 如今已更新换代为 8.1 版本。Jack 作为一个实时可视化仿真系统, 构建的仿真环境可导入用户需要的 CAD 模型, 引入的人体三维模型具有生物力学的特征, 能够将任务赋予数字人, 对数字人的行为进行仿真分析并获取有价值的信息。Jack 的主要优势在于其灵活、逼真的三维人体仿真行为以及详细的三维人体模型, 特别是手、脊柱、肩等部位的模型; 运用前向和反向的运动学公式也是 Jack 的一大优势, 通过肢体末端的移动就

收稿日期: 2015-11-22; 修回日期: 2015-12-21

作者简介: 张磊(1975—), 男, 山东人, 学士, 讲师, 从事装备保障信息化、虚拟维修仿真技术研究。

可以定位人体的姿势。而软件中的数字人模型是由 69 个 Segment(部分)和 68 个 Joint(关节)构成,并且在导入数字人的过程中还可以自定义数字人身体的各个尺寸,因而数字人具备非常高的仿真程度。软件中采用的建模机制为分层建模,其层次关系则为倒树型结构(如图 1),处于最高级的是 Environment(场景),其优势就在于每个 Figure(实体)或 Segment(部分)都可以重复引用,有效地减少创建新场景时的工作量。

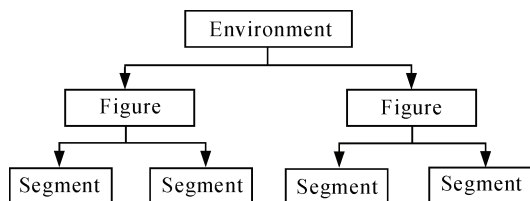


图 1 Jack 分层建模结构

2 基于 Jack 的虚拟维修性验证模型

航空装备维修性人因分析指利用维修性验证方式来保证维修人员能以最佳的工作姿态、合适的工具和适度的工作负荷进行维修工作,从而有利于工作质量与效率的提高。虚拟维修性验证模型主要包含虚拟维修环境、维修设备模型、维修工具模型和人体模型^[6]4 个要素。要进行有效、合理的维修性人因验证分析,首先要建立虚拟维修模型和虚拟维修环境;然后在软件平台中进行装备虚拟维修仿真过程;最后进行动态虚拟维修操作分析验证。

2.1 虚拟维修仿真环境的建立

虚拟环境的建立是虚拟现实技术实现的核心内容。在对某型飞机起落架设备进行虚拟维修或维修性验证时,首先利用技术资料获取实际的三维数据并利用三维建模工具对起落架及维修环境实施建模,以建立一个尽可能真实地反映拆装起落架的虚拟维修环境模型(如图 2),从而保证虚拟维修环境具有可操作性。

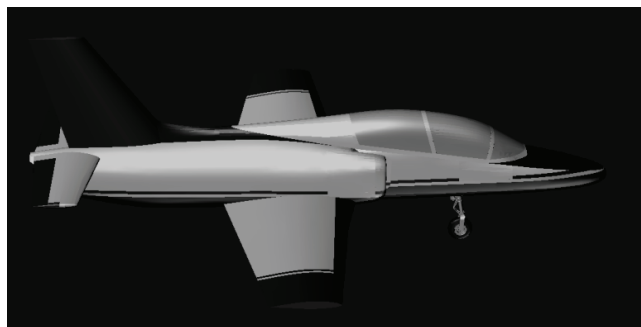


图 2 某型飞机起落架虚拟维修环境模型

1) 建立维修设备和维修工具的三维实体模型。

通过三维建模工具创建设备实体模型并应具有可操作性。但是模型的表示方法众多复杂,有的模型数据量会很大,无法表现出实时性;因此,应尽可能简化模型的数据量。

2) 建立人体模型。虚拟人体建模技术是装备维修性人因分析中的首要技术。创建维修人员的全尺寸模型,从维修人员的有效作业姿态、作业区域、视角范围、主要关节的作用力以及环境对人的附加影响等方面分析系统的维修性。虚拟人的特征参数可通过自定义进行修改,创建出的人体模型应符合维修人员特点,如图 3 所示。在维修过程中,人体模型与三维装配实体模型一同实现维修过程的仿真以及维修性验证^[6-7]。

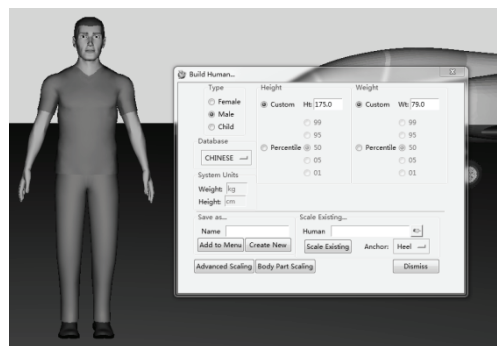


图 3 建立虚拟人体模型

3) 虚拟维修仿真环境的合成。根据维修作业仿真过程的需要,将创建的人体模型、维修工具和维修装(设)备导入虚拟维修场景中,并按实际比例缩放,确定作业空间的相对位置。通过几类模型在场景中的合并,共同定义动态的仿真过程,便可实现维修性的虚拟验证。各类模型之间的关系见图 4。

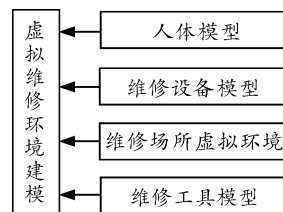


图 4 虚拟维修性验证模型

2.2 装备虚拟维修操作流程

按 IETM 系统维修手册中的操作流程对起落架进行拆卸操作。在虚拟维修环境中建立装备拆卸流程时,因流程和操作步骤相对较为复杂;因此有必要将一些复杂的维修操作尽可能分解成易理解的若干个子维修操作流程,并将动作步骤转换为系统能够接受的参数化描述(包括虚拟人的姿态、验证接触对象的名称与相对位置等),同时注意针对操作对象和动作姿态调整相应的参数。

2.3 动态虚拟维修操作分析

笔者依据设备维修手册，创建行走路径，指导虚拟装备维修人员自主运动到指定维修位置，继而创建在规定时间内按照规定程序的操作动作，实时地研究人与设备的关系，比如可达性、可视性和可维护性。重点分析在有限的操作空间中，操作工具能否可达，空间限度是否有效，并检测各零部件、操作工具之间是否有碰撞，这些对于在有限空间内(如无人机设备舱空间较小，且设备众多)执行协同维修任务非常重要。通过虚拟维修操作分析，对维修作业过程进行合理性及可行性分析与评价。

3 虚拟维修性验证分析

3.1 验证内容

维修操作虚拟验证过程需要对诸多人因要素进行分析。笔者主要验证 2 个部分：实体可达与可视性验证，操作可达验证。验证分析结构如图 5 所示。

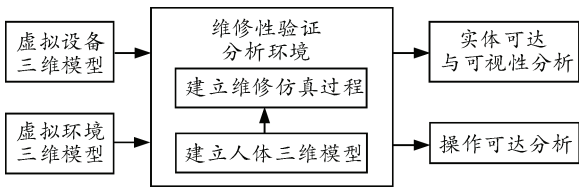


图 5 维修性验证分析结构

3.1.1 实体可达与可视性验证

实体可达性是指手或维修工具能够沿一定的路径或方式，接近维修部位。视觉可达是指维修部位在维修人员视线内达到的范围，维修人员能够方便地进行维修活动。实体可达和可视性必须满足下列要求：应根据实际的人体尺寸设计维修作业空间，须满足人体最小的需求空间；维修人员在作业过程中不能出现自身视线达不到的操作动作^[8]。

3.1.2 操作可达验证

操作可达主要指对设备及零部件进行维修时，工具操作活动的空间难易程度以及维修人员的姿态舒适程度；因此，此验证的主要内容是验证维修人员在维修过程中，是否与维修对象发生碰撞或相互干涉现象，能否处于最佳作业姿势，作业姿势是否会引起维修人员的工作效率明显下降等。

3.2 验证分析

维修操作虚拟验证流程如图 6 所示。在依据 IETM 系统中技术手册相应描述信息的动态虚拟维修仿真的基础上进行维修操作验证分析。

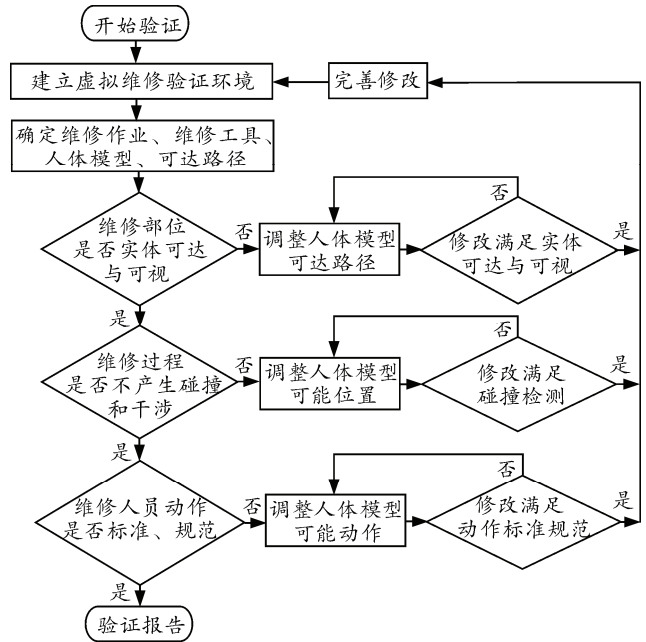


图 6 虚拟维修性验证流程

首先进行实体可达与可视性分析，通过调整人体模型的作业姿势与方位，来判断维修设备是否位于人体模型的可视范围和可达空间内，直到满足实体可达与可视性的要求，并确定可达路径。分析过程中利用【Advanced Reach Analysis】(可达域分析)工具生成一个区域，为特定尺寸的数字人描绘出其最大可触及的范围。借助【Advanced Reach Analysis】工具可以生成 2 个肩及腰部运动的联合驱动最大可达区域(如图 7)。同时利用【Vision Analysis】(可视域分析)工具，研究工作情况下数字人视角内的区域和物体，判断工作的合理性。

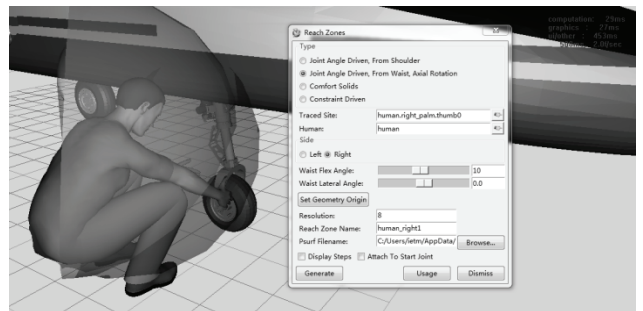


图 7 实体可达与可视性分析

然后对维修过程实施仿真，判断维修人员在维修操作过程中能否发生碰撞或相互干涉的现象。仿真的关键是真实性，通过测量可以对身体进行相应的约束，提高其真实性，同时也可以得出一些数据。通过测量实体之间是否有碰撞，检查任务的可行性。如图 8 中操作人员拆卸起落架前检查起落架各部件时，人体模型头部与机体发生碰撞，此时应进行相

应的姿态调整修改。

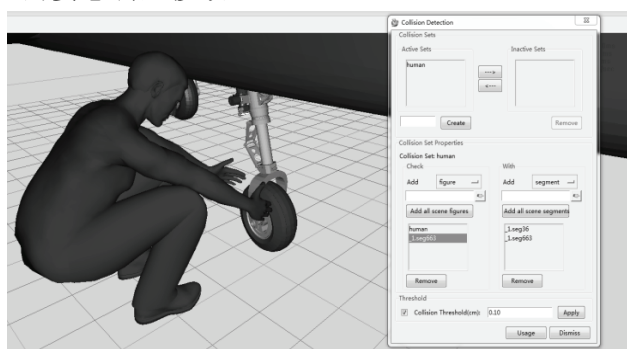


图8 碰撞检测分析

最后分析维修人员操作动作是否标准、规范以及操作的舒适度，并编写验证报告。利用【Ovako Working Posture Analysis】(工作姿势分析)进行工作姿势的快速检查，重点评价基于手臂、腿部和背部负载所要求的工作姿势的不舒适度。分配指示采取纠正措施紧迫性的评估姿势分数，从而快速评估工作姿势，设计新的工作姿势或改进现有的工作姿势(见图9)。通过最终的分析结果可设计一个工作姿势不适度的最低风险，给出各负载的合理要求。

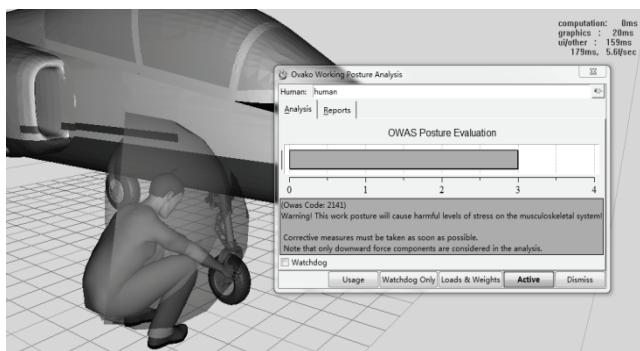


图9 工作姿势舒适度分析

4 结论

针对装备维修操作的特点，笔者从航空装备维修性人因工程的要求出发，利用 Jack 软件技术提出了一种基于虚拟模型与环境的装备维修性人因验证

方法。以装备维修过程中碰撞检测分析、实体可达与可视性分析为例验证操作的可行性，分析结果能够表明装备维修人员操作过程中实体本文可达与可视性是否良好，操作是否得当及工作姿势舒适度。验证结果表明：该方法从根本上改变了传统的航空装备维修性分析验证模式，使维修程序可视化，提供了更真实的动态显示能力，能提高维修行为的有效性，降低维修保障成本，产生军事和经济的双重效益，对装备的维修性人因分析验证具有较为重要参考价值。将 Jack 人因工程技术应用于 IETM 系统中，不但能发挥 IETM 对数据、信息进行管理和组织以及强交互性等多方面的优点；而且又能发挥 Jack 对环境和产品进行人因评估和强大的仿真功能的优势，是提高装备训练现代化建设，提高人才培养质量和教育训练效益的有效途经。

参考文献：

- [1] 徐宗昌, 张光明, 李博. 基于 IETM 的装备交互式训练研究[C]. Proceedings of 14th Chinese Conference on System Simulation Technology & Application (CCSSTA'2012). 2012, 14: 545-548.
- [2] 佟德飞, 米双山, 刘鹏远, 等. 基于 IETM 的三维可视化仿真技术应用研究[J]. 仪表技术, 2010(8): 59-61.
- [3] 朱兴动. 武器装备交互式电子技术手册: IETM[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009: 172-205.
- [4] 沈亚斌, 张洋, 李洁民. 基于动态虚拟现实技术的维修性评估验证系统研究[J]. 直升机技术, 2011, 168: 36-41.
- [5] 钮建伟, 张乐. Jack 人因工程基础及应用实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012: 78-92.
- [6] 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.
- [7] 徐达, 王宝琦, 吴溪. 基于虚拟样机的装备维修性人因分析方法研究[J]. 机电产品开发与创新, 2012, 25(6): 98-100.
- [8] 常燕萍. 基于虚拟维修的可达性设计验证研究[J]. 科技信息, 2012(32): 709.