

# 武器装备虚拟维修训练系统设计与实现

何嘉武<sup>1</sup>, 赖煜坤<sup>2</sup>

1. 装甲兵工程学院科研部, 北京 100072
2. 中国人民解放军 75130 部队装备部, 广西贵港 537103

**摘要** 随着虚拟现实技术的不断发展, 为了弥补实装训练的不足, 武器装备虚拟维修训练日益受到关注。本文进行了武器装备虚拟维修训练系统的基本功能与模块设计, 包括构造原理学习模块、部件级实车拆装模块、分解结合模块、故障检查与排除模块、控制与考核模块, 研究了虚拟维修训练系统实现应该具备的各种基础数据以及实现数据开发与集成的方法和技术, 并在此基础上设计了虚拟维修训练系统构架。该设计可为各种装备虚拟维修训练系统开发以及集成提供参与借鉴。

**关键词** 武器装备; 虚拟现实技术; 虚拟维修

**中图分类号** TJ012.3

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-7857(2010)24-0071-04

## Development of Weapon Equipment Virtual Maintenance Training System

HE Jiawu<sup>1</sup>, LAI Yukun<sup>2</sup>

1. Department of Scientific Research, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China
2. Equipment Department, Troop 75130 of PLA, Guigang 537103, Guangxi Province, China

**Abstract** With the rapid development of the virtual reality technology, the shortcomings of the conventional real weapon equipments maintenance training can be remedied by adopting virtual maintenance training technology. This paper reviews the significance and development status of virtual maintenance based on virtual reality technology, including the basic functions and module design of weapon equipments virtual maintenance training system, such as construction and principle learning module, real component level dismantlement and assemble module, decomposability and combining, fault check and removing module, control and examining module, etc. The basic data necessary to realize the virtual maintenance training system are identified and how to obtain these data is discussed, including maintenance items, maintenance training contents, fault database and maintenance training behavior simulation. On the basis of above results, the system framework is designed, which can be used for the development and integration of all kinds of weapon equipment virtual maintenance training systems.

**Keywords** weapon equipment; virtual reality technology; virtual maintenance

### 0 引言

目前, 中国军队对武器装备维修人员的训练一般是利用维护说明书、多媒体、录像和教材等资源, 结合实装训练开展<sup>[1-2]</sup>。这种维修训练方式存在对故障检测维修训练的关键内容训练很少、提供的故障现象和维修操作有限、受训人员的数量和时间难以保证、新装备难以提供给实践维修训练使用等缺陷, 使得部队的装备维修训练普遍存在着“以修代训”、维修

训练知识和技能总在低水平徘徊的情况。因此, 迫切需要从维修训练的手段和方法上进行创新, 开发满足新装备训练需求, 符合基层部队实际的训练设备和手段。随着计算机软硬件技术的迅速发展, 基于虚拟现实技术<sup>[3-4]</sup>的虚拟维修训练为基层部队提供了一种费效比较好的武器装备维修训练手段, 它能提高基层部队对武器装备的自主维修训练能力, 促进基层部队维修保障能力的快速形成<sup>[5-6]</sup>。

收稿日期: 2010-09-17; 修回日期: 2010-11-17

作者简介: 何嘉武, 讲师, 研究方向为武器装备维修技术, 电子信箱: jiawuhe@sohu.com

虚拟现实技术在虚拟维修训练方面最为典型的应用,当属美国哈勃望远镜的维修训练<sup>[7]</sup>。1990年4月,哈勃望远镜进入轨道不久,天文学家发现它的光学系统存在缺陷,因此美国国家航空航天局(NASA)为执行任务的宇航员建立了虚拟的太空环境,可完成各种模拟维修活动。经训练后,哈勃的维修任务于1993年12月成功完成。这是第一次大规模应用虚拟维修技术完成实际任务,并取得了成功。1996年,McIn 和 Chung 描述了一个可以在PC机上运行、成本低廉的美军坦克、导弹、军车辆维修保养训练系统,表明了虚拟现实技术的发展使武器装备虚拟维修技术的普及成为可能<sup>[8]</sup>。美国洛克希德·马丁公司, Boston Dynamics Institute 和 GE 公司合作建立了主要用于F-16战斗机和C-130运输机的维修训练虚拟维修系统,该系统可以对人的行为进行逼真描述,可以实现三维动画仿真,具有简单、实用的CAD程序和转换器,可以对维修工作空间大小和人体几何学进行描绘,用户还可以登陆该系统实施远程的维修培训<sup>[9]</sup>。日本东京大学 Kimura 等进行了维修性虚拟设计方面的研究,提出了虚拟维修系统的概念,明确了虚拟维修系统所包含的内容<sup>[10]</sup>。到目前为止,虚拟维修已成为各国装备维修领域的主要发展趋势之一,许多国家由于起步较早、基础较好、投入较大已进入实用阶段。

国内从20世纪90年代末以来,经过10多年的研究,在装备虚拟维修技术与方法探索、各种装备维修训练系统开发等方面也取得了不少的成果,但在大量数据快速处理,班组虚拟维修训练实现,电气、通信、控制系统虚拟维修等关键技术实现,系统系统集成、通用、易用、实用等方面,与国外相比还有一定的差距<sup>[9]</sup>。

## 1 武器装备虚拟维修训练系统设计

### 1.1 基本功能

虚拟维修是实际维修过程在计算机上的本质实现。其利用计算机技术,开发基于虚拟现实技术的人机交互式虚拟维修训练系统,利用该系统不仅能形象、直观地演示武器装备结构、原理、分解结合过程和各种典型故障的维修过程,同时能够指导维修人员进行维修训练,包括准备、故障检测、拆卸、换件或修复原件、安装、调试及检验等几乎全部的实际装备维修活动。为了达到部队武器装备维修训练的目的与要求,虚拟维修训练系统基本功能设计如下。

1) 训练内容。虚拟维修训练系统要能够针对特定的装备开展构造原理、操作使用、分解结合、检查调整与故障排除等方面的学习和训练。

2) 训练模式。为了达到与实际装备维修训练相同的作用,应采用多种训练模式,如系统自动讲解演示、学员自主学习、系统引导式训练与自主训练。在学习与训练的过程中,被训人员可灵活调整训练内容,随时得到帮助,误操作时有实时提示。

3) 交互操作方式。被训人员利用该系统就如同在实际装

备上操作一样,可以开展与实际维修训练相关的活动,包括设备与工具选择,零部件拆卸、更换、清洗,系统装配、检测,故障检测与分析。

4) 考核功能。为了检查被训人员实际训练效果,利用该系统可以开展自我测评和考核。

5) 辅助功能。系统还应具有用户管理、数据管理、维修帮助等辅助功能。

### 1.2 虚拟维修训练系统模块设计

根据上述训练内容、训练模式、操作方式、考核功能等设计,武器装备虚拟维修训练系统至少应由以下几个模块组成。

1) 构造原理学习模块。该模块能演示装备部件、子系统和整体的三维视图、透视图。受训人员在该模块下选取需要学习的机构,利用其提供的视频、文字、声音等进行学习。

2) 部件级实车拆装模块。该模块主要是用于部件级实车拆装的训练,包括维修训练工艺和维修训练操作,维修训练工艺是演示各系统部件在维修过程中的拆装顺序,即演示自动分解、结合的步骤功能,帮助操作人员了解其结构特点和维修工艺;维修训练操作是维修人员在学习完维修训练工艺后对维修训练的自我考核,包括在人机交互模式下用鼠标进行手动拆卸和手动组装功能,帮助维修人员进行拆装训练操作。当受训人员按照正确的拆卸步骤单击系统的零件时该零件会自动拆卸下来。

3) 分解结合模块。该模块包含自动装弹机各机构的零部件分解与结合的全部过程,可以用来训练官兵对各机构的拆分组装。

4) 故障检查与排除模块。该模块能演示装备的各个系统部件故障的排除和调能,受训人员可以对装备常见的故障现象、故障原因和排除方法进行学习。

5) 控制与考核模块。该模块能生成整个维修训练操作的动作序列,实现对整个维修过程的监控、误操作的记录和辨别,并给出实时指导。对受训人员的虚拟维修过程进行优化,能完成特定维修任务所需时间等信息、装备维修和技术保障的正确性的评估,从而起到提高和考核训练者的作用。

## 2 武器装备虚拟维修训练系统实现

### 2.1 数据实现

虚拟维修训练系统实现的核心是应用层与对象层的各种资源的仿真建模,然而,系统、完善、实用的建模需要以科学、合理的装备维修任务为牵引,因此,开发武器装备虚拟维修训练系统一般要具备下述基础性数据:① 维修工作项目、维修训练内容及要求分析与确定;② 故障数据库开发;③ 虚拟维修训练数据仿真建模。对这些数据进行融合处理,使其成为具有训练能力的可共享的维修训练内容。

1) 维修工作项目、维修训练内容及要求分析

针对特定装备,确定合理的维修工作项目、训练内容和训练形式,是开发系统、完善、实用的装备虚拟维修训练系统

的前提条件。首先,深入分析装备的系统组成、大部构成与布局、工作原理,针对不同子系统的特点,确定其训练内容与要求。其次,根据装备的军事训练考核大纲和修理指南,分析武器装备各级维修工作项目,根据单兵、班(组)、技术军官等不同人员的训练要求,确定训练科目,并进一步细化维修人员的具体操作步骤和操作要求。在此基础上,制定评判操作是否正确合理的标准,形成维修工作标准,用以支持训练过程的设计、训练数据的开发以及训练考核标准的制定。然后,对训练科目进行分类,确定训练科目之间的先后层次关系,从而得到训练科目体系。最后,根据不同维修级别所对应的维修训练内容,分析合适的训练形式,确定虚拟维修训练的内容范围、仿真和训练形式。例如,某装甲车辆底盘部分的维修工作内容,按3层结构设计得到的训练课程体系,如表1所示。根据选取后的维修工作内容,按3层结构可设计得到13个训练课程。

表1 某装甲车辆底盘部分维修训练科目设计  
Table 1 Maintenance training design of a certain armored vehicle chassis

第1层	第2层	第3层
		动力装置及辅助装置
	基层级维修	传动装置
		行动部分
		操纵装置
		车体
修理	中继级维修	动力装置及辅助装置
		传动装置
		行动部分
		操纵装置
		车体
	工具及工装	修理通用工具
		修理专用工具
		修理各种支架

### 2) 故障数据库开发

故障检测与排除是武器装备维修训练的重要内容之一,随着装备复杂程度的提高,尤其是控制环节越来越多,故障易发且不易查找和排除,给经验训练带来很大困难。因此,在开发虚拟维修训练系统前,必须对装备的常见故障现象进行统计并对有可能发生的故障原因、引起故障的位置与元件进行分析,提出有针对性的维修方案,建立部件及整体故障数据库,在此基础上确定故障检查与训练内容与合适的训练形式。

### 3) 虚拟维修训练数据仿真建模

虚拟维修训练数据仿真建模是开发基于虚拟现实技术的武器装备虚拟维修训练系统的最重要工作。仿真建模包括环境建模、装备虚拟样机建模、维修设备与工具建模、故障建模和人机交互维修过程建模等。

环境建模。利用三维软件构建虚拟维修场所,做到与实际场所一致,包括维修工房、工作台等。

装备虚拟样机建模。虚拟样机建模是虚拟维修的基础,建模的好坏直接关系到系统交互性和沉浸感的实现。

某维修设备与工具建模。构建维修过程中所需的各种设备与工具的三维实体模型,并进行功能描述,以备维修选用。

故障建模。动画演示各种故障现象的设置、排除,并进行故障原因描述。

人机交互维修过程建模。对维修过程进行仿真建模,赋予人与装备交互行为特征,使训练行为与实装操作基本一致,能够支持各种虚拟维修操作和状态控制与改变,科学合理的路径规划是这种交互过程建模的关键前提。某部件交互式虚拟维修训练界面如图1所示。

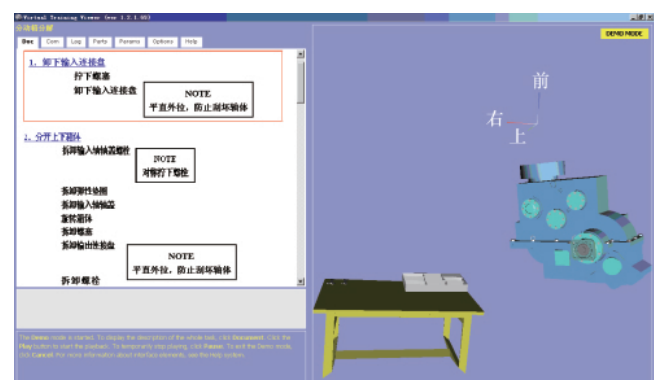


图1 某分动箱虚拟维修训练系统界面  
Fig. 1 Interface of virtual maintenance training system of some drive box

总的来说,数据建模包括三维实体建模和行为建模。随着装备复杂程度的提高,装备的零部件类型多、数量大,对于有分解结合、拆装操作的虚拟维修训练系统建模,部件相互位置准确度、部件几何尺寸精确度等要求较高,三维实体建模工作繁重而复杂,一般采用现行的三维建模软件,如 AutoCAD、Solidworks。行为建模是模拟受训人员操作装备需要实现的一系列动作,包括选择工具、装备分解、装备结合等,一般采用 3DSmax、OpenGL 等。将数据融入系统平台,实现人机交互式控制,一般采用的虚拟现实软件有 NGRain、EON 等。

### 2.2 开发实现

#### 1) 训练系统数据形式

为了实现虚拟维修训练过程各内容,数据格式要求不一样,一般有声音、文字图片、视频等,例如装备构造原理模块学习所需训练数据及其表现形式,列于表2。

#### 2) 系统分层结构

为了实现虚拟维修训练系统的各项功能,各种软、硬件的结合可以采用4个分层结构:界面层、应用层、对象层和技术支持层<sup>[11-12]</sup>,如图2所示。界面层是用户与系统交互的方式和接口,用于接受用户的输入命令、响应用户的鼠标键盘事件,并将处理结果以图示化方式或对话交互形式反馈给用户;应

表2 综合传动装置的工作原理及构造类的训练过程设计

Table 2 Training process design for principles and constructions

类型	是否需要	文件格式	具体内容
三维模型	是	max	显示三维构造
声音文件	是	cjm	同步讲解构造与工作原理
文字	是	wav	讲解构造与工作原理
图片	否	jpeg	
视频	是	mpg	演示工作原理

用层是系统应用实现的核心,是用于实现维修训练操作相关的一切活动;对象层用于存取、生成、维护和管理系统运用过程中的各种建模数据;技术支持层是支持基于虚拟维修系统运用的软硬件及其技术。

为了使各单位开发的针对不同类型装备或者相同装备不同系统的虚拟维修训练系统能够兼容,应使用统一的虚拟维修训练系统集成平台,如军械工程学院研发的“美腾”装备虚拟维修训练系统已成为军队内单位的共用平台。

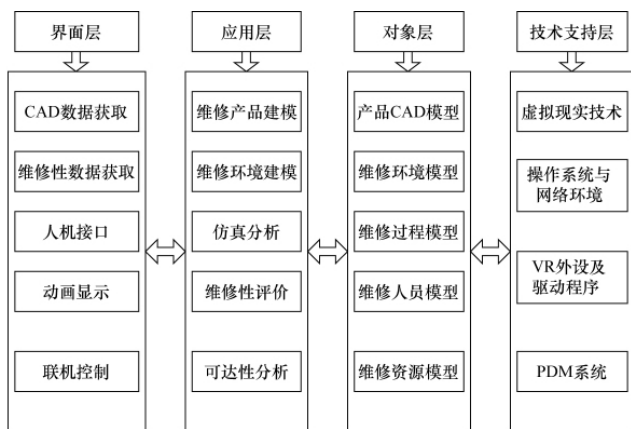


图2 虚拟维修训练系统构架

Fig. 2 Framework of virtual maintenance training system

### 3 结论

基于虚拟现实技术开发的人机交互式虚拟维修训练系统,能形象生动直观地演示武器装备结构、原理和分解结合过程、部件及系统各种故障现象,并能指导维修人员进行训练,使受训人员能够达到在实装上进行维修训练的效果,这是今后全军武器装备维修训练发展趋势。根据当前武器装备虚拟维修训练系统开发,存在训练系统设计不规范、功能不完善、平台不统一等现象,本文进行虚拟维修训练系统基本功能分析与模块设计,并从顶层对数据实现、系统开发实现等问题进行了探讨,对于规范各种武器装备虚拟维修训练的开发,使其发展具有兼容性、通用性和实用性,真正在部队形成保障力具有重要的意义。

#### 参考文献 (References)

[1] 谭继帅, 郝建平, 王松山. 装备虚拟维修训练研究与发展综述[J]. 兵工

自动化, 2007, 26(5): 105-109.

Tan Jishuai, Hao Jianping, Wang Songshan. *Ordnance Industry Automation*, 2007, 26(5): 105-109.

[2] 卢晓军. 维修仿真中虚拟人动作建模与行为控制技术[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2006.

Lu Xiaojun. Virtual man acting modeling and behavior controller technology of maintenance simulation [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2006.

[3] 刘玉海, 俞康伦, 张锡恩. 基于虚拟现实的装备维修仿真训练系统研究[J]. 计算机仿真, 2002, 19(2): 49-51.

Liu Yuhai, Yu Kanglun, Zhang Xi'en. *Computer Simulation*, 2002, 19(2): 49-51.

[4] 刘玉海, 张锡恩. 某大型导弹武器系统虚拟维修系统 [J]. 兵工学报, 2004, 25(5): 562-566.

Liu Yuhai, Zhang Xi'en. *Acta Armamentarii*, 2004, 25(5): 562-566.

[5] 洪津, 张万军, 谢庆华, 等. 虚拟维修训练系统发展综述及其关键技术探讨[J]. 解放军理工大学学报: 自然科学版, 2000, 1(1): 63-67.

Hong Jin, Zhang Wanjun, Xie Qinghua, et al. *Journal of PLA University of Science and Technology: Natural Science Edition*, 2000, 1(1): 63-67.

[6] 郝建平. 虚拟维修仿真理论与技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.

Hao Jianping. *Virtual maintenance simulation theory and technology*[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008.

[7] 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, Lu Chuan. *Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics*, 2005, 17(12): 2729-2733.

[8] McLin D M, Chung J C. Combining virtual reality and multimedia techniques for effective maintenance training [C]//Proceeding of the 24th AIPR Workshop on Tools and Techniques for Modeling and Simulation, SPIE. 1996, 2645: 204-210.

[9] Rosenberg B. Lockheed martin demonstrates virtual maintenance software [J]. *Aviation Weeks & Space Technology*, 2002, 156(14): 89.

[10] Srinivasan H, Figueroa R, Gadh R. Selective disassembly for virtual prototyping as applied to de-manufacturing[J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 1999, 15(3): 231-245.

[11] 黄海亮. 自动装弹机虚拟维修技术研究 [D]. 北京: 装甲兵工程学院, 2009.

Huang Hailiang. A study for virtual maintain technology of autoloader [D]. Beijing: Academy of Armored Force Engineering, 2009.

[12] 杨宇航, 李志忠, 郑力. 虚拟维修研究综述 [J]. 系统仿真学报, 2005, 17(9): 2191-2195.

Yang Yuhang, Li Zhizhong, Zheng Li. *Journal of System Simulation*, 2005, 17(9): 2191-2195.

(责任编辑 代丽)

#### 本期好玩的数学——贴错的标签答案

选择贴有“黑白”标签的盒子。因为所有盒子的标签都贴错了。因此贴有“黑白”标签的盒子装的或是两个白围棋子,或是两个黑围棋子。从这个盒子中随便取出一个围棋子。

若这一围棋子是白的,说明这个盒子中装的是两个白子。于是显然,贴有“黑黑”标签的盒子装的不可能再是两个白子,由已知也不可能两个黑子,因此它装的是黑白两子。而贴有“白白”标签的盒子装的则一定是两个黑子。

若这一围棋子是黑的,说明这个盒子中装的是两个黑子。于是显然,贴有“白白”标签的盒子里装的不可能再是两个黑子,由已知也不可能两个白子,因此它装的是黑白两子。而贴有“黑黑”标签的盒子装的则一定是两个白子。