

# 某型雷达虚拟维修训练系统的设计与实现

赵喜, 胡文华, 李鸣, 付强

(陆军工程大学 石家庄校区, 石家庄 050003)

**摘要:** 为提高教学训练效果, 弥补装备教学训练中实装不足、装备损耗大、教学训练成本高等实际问题, 设计并实现了某型雷达虚拟维修训练系统; 该虚拟维修训练系统包括系统主界面和系统集成框架两大部分, 具有装备结构展示、装备操作训练、装备维修训练、训练效果评估、数据支持等多项功能, 有效解决了上述装备教学训练中存在的实际问题; 目前, 该系统已应用到相关专业的装备构造与维修、装备综合实践等多个课程当中, 取得的很好的教学训练效果, 系统的设计开发可为其他装备虚拟维修训练系统的开发提供参考与借鉴; 论文首先介绍了系统的基本功能和结构, 然后详细论述了系统模型的开发过程, 最后给出了虚拟训练工作流程。

**关键词:** 雷达; 虚拟现实技术; 维修训练; 装备训练

## Design and Implementation of Virtual Maintenance Training System for Certain Radar

Zhao Xi, Hu Wenhua, Li Ming, Fu Qiang

(Shijiazhuang Campus, Army Engineering University, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:** In order to improve the effect of teaching and training, to make up for the practical problems in equipment teaching and training, such as deficiency of actual equipment, large loss of equipment and high cost of teaching and training, a kind of radar virtual maintenance training system is designed and realized. The virtual maintenance training system consists of two parts; the main interface of the system and the system integration framework. The virtual maintenance training system has many functions, such as equipment structure display, equipment operation training, equipment maintenance training, training effect evaluation, data support and so on. It effectively solves the practical problems existing in the teaching and training of the above mentioned equipment. At present, the system has been applied to many courses, such as equipment construction and maintenance, equipment comprehensive practice and so on. The system has achieved good teaching and training effect. Therefore, the design and development of the system can provide reference for the development of virtual maintenance training system for other equipment. This paper first introduces the basic function and structure of the system, then discusses the development process of the system model in detail, and finally gives the virtual training work-flow.

**Keywords:** radar; virtual reality technology; maintenance training; equipment training

## 0 引言

雷达实装教学训练当中, 受教学训练资源、手段的限制, 装备教学训练过程中存在着装备设备不足、教学训练时间难以保证、成本高等突出问题, 很大程度上制约着教学训练效果的提高<sup>[1]</sup>。而利用虚拟现实技术开发虚拟维修训练系统可在很大程度上缓解上述问题, 且系统具有交互性强、安全性高、不损耗实际装备器材、不受装备和场地限制等优点<sup>[2]</sup>。因此, 本文结合装备教学训练实际需求, 针对某型火控雷达, 利用虚拟现实技术<sup>[3]</sup>设计并开发了某型雷达<sup>[4]</sup>虚拟维修训练系统, 并在教学训练实践中进行了应用, 取得了很好的教学训练效果。

## 1 系统基本功能

根据雷达教学训练实际需求, 开发的某型雷达虚拟维修训练系统具有五项基本功能: 装备展示功能、装备操作功能、装备维修功能、训练评估功能以及数据支持功能, 如图1所示。

### 1.1 装备展示功能

装备构造原理认知是进行雷达装备操作训练、维修训练的基础。装备展示功能针对装备构造原理认知需求, 包括两方面的内容: 一是以虚拟交互的方式, 向参训人员展示雷达整机及其各分系统的结构组成; 二是向参训人员演示雷达整机及其各分系统的工作过程。

### 1.2 装备操作功能

装备操作训练是装备教学训练的一项基本内容, 也是进行雷达维修训练的基础。装备操作功能针对装备操作训练需求, 利用系统提供的虚拟装备操作环境, 可进行雷达架设、撤收、开机、关机、系统标定、搜捕目标等装备操

收稿日期: 2018-08-03; 修回日期: 2018-08-29。

**作者简介:** 赵喜(1981-), 男, 河北石家庄人, 博士, 讲师, 主要从事信息对抗装备作战运用与运筹分析方向的研究。

胡文华(1970-), 男, 湖北武汉人, 博士, 副教授, 主要从事雷达装备教学和科研工作方向的研究。

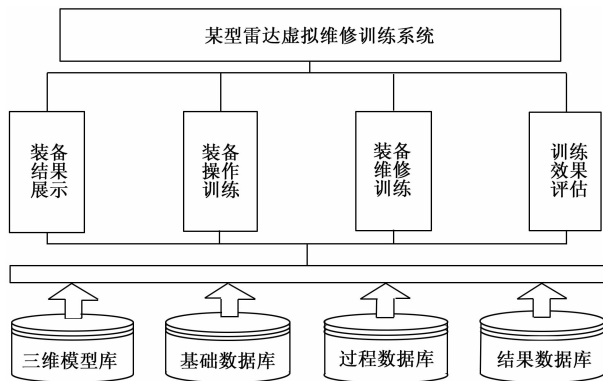


图 1 系统基本功能图

作训练。

### 1.3 装备维修功能

装备维修训练是雷达装备教学训练的一项重要内容。装备维修训练包括三个基本的步骤：故障观察、故障诊断、故障排除<sup>[5-6]</sup>。针对这一基本过程，系统提供的装备维修功能可为参训人员提供一个虚拟的雷达装备维修环境，利用该环境，可进行装备性能检查、组合拆装、组件更换等装备维修活动<sup>[7-8]</sup>。

### 1.4 训练评估功能

训练评估是检验雷达装备教学训练效果的有效手段。系统提供的装备操作训练和装备维修训练环境可实时记录参训人员的训练过程，并将训练过程数据存入过程数据库。需要进行训练评估时，系统可调用训练过程数据，利用训练评估模型，对参训人员的训练效果进行评估。

### 1.5 数据支持功能

数据支持功能是系统装备展示、装备操作、装备维修、训练评估等功能的保障。装备构造原理展示时，数据库可为虚拟系统提供装备结构模型，基本行为模型等数据支撑。装备操作或维修训练时，数据库除了提供基本的运行数据外，还可记录训练过程数据。训练评估时，数据库可为训练评估提供评估数据及评估模型，并记录评估结果。

## 2 系统结构组成

结构组成上，可将某型雷达虚拟维修训练系统分为两部分：系统主界面以及系统集成框架，如图 2 所示。

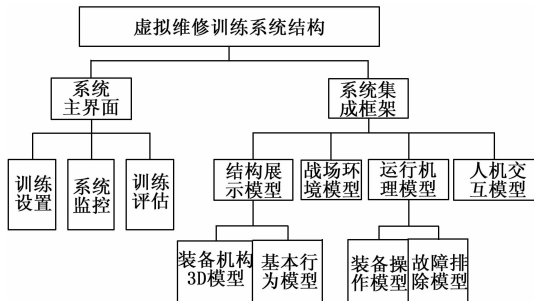


图 2 某型雷达虚拟维修训练系统的结构

其中，系统主界面包括三个功能模块：训练科目设置、训练过程监控、训练评估。训练科目设置主要用于对装备操作或装备维修训练科目进行设置；训练过程监控主要对训练过程进行监视和控制；训练评估主要用于对装备操作或装备维修训练过程进行评估。

系统集成框架集成各类仿真模型模块，控制各类模型模块的加载、卸载以及运行，从而实现“人—机”交互式仿真。

系统集成框架集成的模型模块主要包括：构造原理展示模型模块、训练环境模型<sup>[9]</sup>模块、运行机理模型模块和人机交互模型<sup>[10]</sup>模块。其中，构造原理展示模型包括两类：装备结构模型和基本行为模型。装备结构模型主要包括雷达及其附属设备（如指挥镜、雷达附件等）模型；基本行为模型主要包括操作过程中装备展现出的各种基本现象和行为模型。训练环境模型主要包括雷达所处地域环境、气象条件等基本训练环境条件模型。运行机理模型包括两类：装备操作模型和装备维修模型。装备操作模型是对装备操作行为的描述；装备维修模型是对装备故障排除行为的描述。人机交互模型用于将操作人员的操作转换为对虚拟装备的操作指令，从而实现交互式虚拟训练。四类仿真模型的关系如图 3 所示。

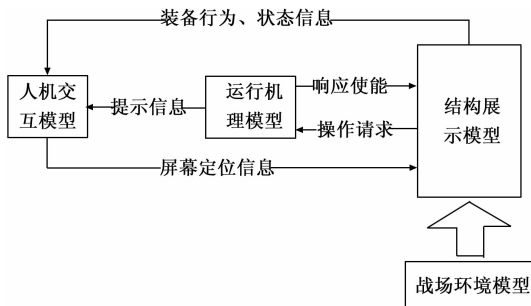


图 3 四类模型关系

人机交互模型将操作人员的操作行为转换为屏幕定位信息，并作用于构造原理展示模型；构造原理展示模型给运行机理模型发出操作请求，根据装备操作规则，运行机理模型向构造原理展示模型发送装备响应使能，同时将提示信息发送给人机交互模型，从而可为操作人员提供提示信息。在虚拟训练过程中，训练环境模型提供训练环境信息。

## 3 系统仿真模型的开发

维修训练系统仿真模型的开发主要包括装备结构模型开发、训练机理模型开发、人机交互模型开发和战场环境模型的开发。这里着重介绍装备结构模型、训练机理模型和人机交互模型的开发过程。

### 3.1 装备结构模型开发

装备结构模型在一定程度上具有与真实雷达装备相似的几何与功能真实度，具有支持训练活动过程的空间、时

间、自由度约束的运动特性和物理特性。装备结构模型开发主要包括装备的物理结构描述与基本行为描述。

装备物理结构描述按照“单装”→“分体/组合”→“面板/电路板”→“部件/测试点”的四级结构进行,以满足对装备结构认知及不同训练的需求。根据不同的需求,装备的最小开发单元可以是“部件/测试点”,也可是“面板/电路板”,因此在进行 3D 模型是应统筹考虑,模型开发有详略重点,这样有利于减小装备建模的工作量。

基本行为描述针对装备模块实际的基本状态而开发,如按键的按下、天线的转动、组合从车体的抽出、电路板从组合中的分解、开关的扳动、显示部件状态的改变、测试点的信号输出等,基本行为描述可结合装备的 3D 模型同步进行。

### 3.2 训练机理模型开发

训练机理模型按照实际装备操作和故障排除流程而开发,包括以下内容:训练过程、正常使用操作的步骤、故障诊断与排除的过程;装备维修/操作过程中,各部件、测试仪器仪表等相互之间的激励与响应关系;在战斗操作或故障诊断过程时,在每个步骤下允许或禁止的操作。因此,训练机理模型开发包括两大步骤:装备操作/维修流程描述,对每一个操作步骤进行详细说明。

第一步,装备操作/维修流程描述。该步骤可用维修/操作过程流程图来表示,图 4 给出了雷达战斗准备的操作过程流程图。

装备维修/操作过程流程图绘图要素包括三项:操作步骤、联接和交汇点。操作步骤用于描述装备维修/操作过程中的一个步骤或状态,在该步骤下包括一项关键操作,完成该操作后则转向下一个步骤。联接是把操作步骤等模块连接在一起的机制,表明它们之间时间的、逻辑的、因果的等联系。交汇点是用于说明过程分支之间逻辑关系的一种机制包括过程的分叉与汇合、过程之间的关系。

第二步,对装备操作/维修流程涉及到的每一个操作步骤进行详细说明。操作步骤详细说明的目的是描述出在该操作步骤中的关键操作(如按钮的“按下”、“抬起”,开关的“打开”、“关闭”,电路板测试点的“测量”等),并对这些操作的激发原因和响应现象进行描述(如按下按钮后指示灯亮,指示灯则是对按钮按下操作的响应对象,又如对电路板上的测试点进行操作时,测试仪表对其进行响应,显示数据、波形等)。

### 3.3 人机交互模型开发

人机交互模型主要采用面向消息的模式开发,包括使用外部设备对虚拟装备触发产生的操作消息和触发装备产生的响应消息。在模型开发的过程中,为了便于控制装备各个部分的状态,将装备操作和装备响应分离开来设计。利用外设(如键盘、操纵杆、触控手势等)对装备进行操作,系统将这些操作按照一定的规则转换成操作消息,向

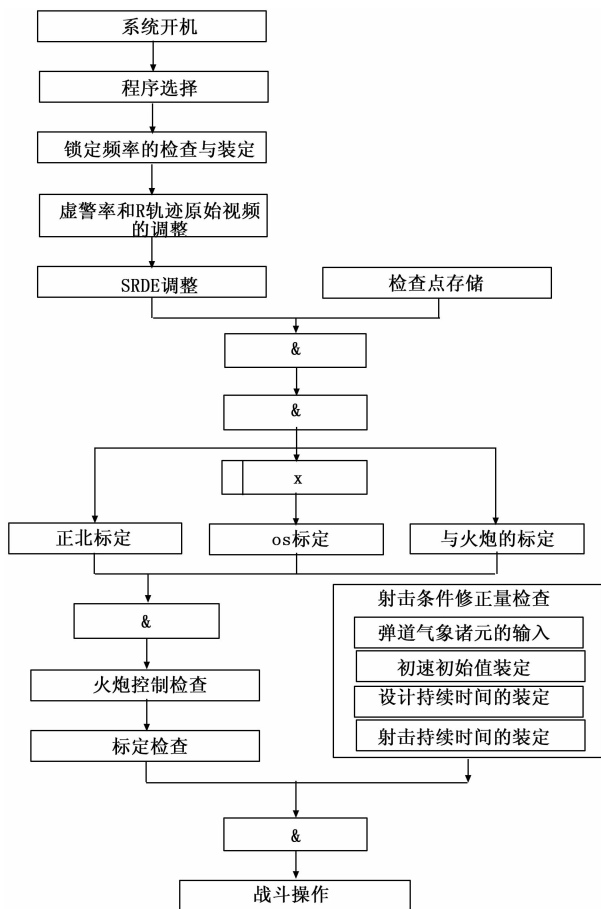


图 4 雷达战斗准备的操作过程流程图

机理模型发出操作请求;机理模型对操作请求进行判断,如果是允许操作,则发出响应消息,装备结构模型对消息进行响应;如果是不允许的操作,则发出操作错误的提示。

## 4 虚拟训练基本工作流程

利用某型雷达虚拟训练系统进行训练,操作过程可分为训练科目选择、系统初始化、装备训练、训练效果评估 4 个步骤,如图 5 所示。

- 1) 训练科目选择:系统启动之后,根据训练计划安排,在主界面选择需要进行的训练科目,然后进行系统初始化;
- 2) 系统初始化:读取数据库数据,加载战场环境模型、装备结构展示模型和装备机理模型,并对装备的初始状态进行设置;
- 3) 装备训练:操作人员使用键盘鼠标或其他人机交互设备进行装备操作训练过程中可提供相应的提示信息,系统实时记录操作步骤。
- 4) 训练效果评估:操作完成后,系统利用操作过程数据和训练效果评估模型,进行训练效果评估并显示评估结果。

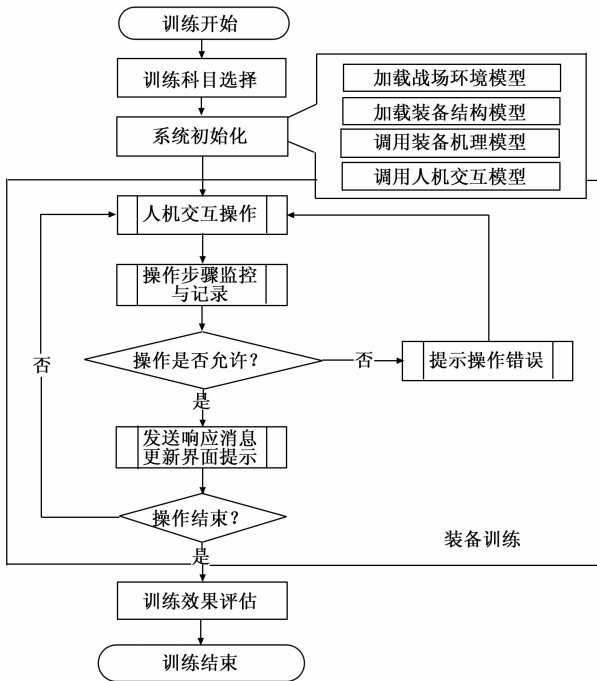


图 5 虚拟训练系统基本流程

## 5 应用实例

装备教学训练活动主要包括两大类：构造原理教学以及装备操作训练。下面介绍系统在两类教学训练活动中的应用实例。

### 5.1 在构造原理教学中的应用

结合虚拟维修训练系统，构造原理教学可在如下环节展开：装备展示、拆装演示。

**装备展示。**可利用系统提供的装备 3D 模型，进行雷达装备整机及主要组成部分的演示，指明雷达装备整机的组成及各组成在装备中的位置。

**拆装演示。**可利用系统提供的模拟操作环境，拆装雷达各组成部分，雷达各组成部分的结构和拆装过程可被更加直观的认知。图 6 为装备某组成部分的结构与拆装演示过程。



图 6 装备结构与拆装演示

利用虚拟维修训练系统进行雷达装备的构造原理教学，可便利参训人员对装备结构的认知，提高参训人员的学习

效果。

### 5.2 在装备操作训练中的应用

结合虚拟维修训练系统，装备操作训练在如下环节展开：操作演示、虚拟操作、训练评估。

**操作演示。**利用虚拟维修训练系统进行装备操作训练内容演示。让参训人员了解装备的战勤操作、维修操作等基本内容，起到“教学引导”的作用。

**虚拟操作。**参训人员在系统上进行虚拟交互操作，通过多次的虚拟交互式训练，可以熟悉操作的流程，为实装操作做好准备。

**训练评估。**结合模拟操作情况，运用虚拟维修训练系统的训练效果评估功能，可评估参训人员训练水平。

将虚拟维修训练系统应用于装备操作训练环节，体现出了“开放式、情景式、交互式”的特征<sup>[1]</sup>，在很大程度上克服了实装训练中存在的实装不足、装备损耗大、教学训练成本高等突出问题，促进了装备教学训练工作的开展。

## 6 结束语

基于虚拟现实技术开发的某型雷达虚拟维修训练系统可使受训者在不依托实际装备的情况下进行逼真的教学训练。目前，该系统已用于我校多个专业的装备操作、维修等教学训练实践中，不但解决了教学训练中装备设备不足、时间难以保证、成本高等突出问题，同时也丰富了教学训练的手段，提高了参训人员参与训练的积极性，有效提高了装备教学训练效果<sup>[6]</sup>。本文的研究可为其他装备虚拟维修训练系统开发提供参考，具有积极的应用价值和借鉴意义。

### 参考文献：

- [1] 赵喜, 胡文华. 多媒体教学训练系统的开发及应用 [J]. 中国教育信息化, 2017 (7): 79-81.
- [2] 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 (11).
- [3] 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 (01).
- [4] 胡文华, 等. ××××雷达构造与维修 [M]. 军械工程学院, 2016. 09.
- [5] 张卫王, 苏群星, 刘鹏远, 等. 面向装备维修的虚拟拆卸系统关键技术研究 [J]. 系统仿真学报, 2013 (12).
- [6] 张连武. 虚拟维修中虚拟装拆的实现 [J]. 农业科技与装备, 2013 (6).
- [7] 李翠超, 凌芳. 虚实结合的虚拟仿真技术在工程训练中的应用 [R]. 天津: 实验室科学, 2015, 118 (2): 128-131.
- [8] 宋福林, 黄登红. 数控机床机械装配与调试实训虚实结合教学改革探索 [J]. 科技信息, 2013 (17): 40-41.
- [9] 王上军, 等. 某装备虚拟维修训练系统设计与实现 [J]. 兵工自动化, 2009 (9): 11-14.
- [10] 张爽, 等. 基于 Unity3D 的桌面式虚拟维修训练系统设计与实现 [J]. 计算机工程与应用, 2014, 50 (S1): 62-66.