

doi: 10.7690/bgzdh.2013.02.004

## 两栖装甲装备驾驶模拟训练系统的实现

孙永富, 贾琴, 黄齐鸣, 陶月龙

(1. 总装装甲兵驻上海地区军事代表室, 上海 200011; 2. 上海电控研究所, 上海 200092)

**摘要:** 驾驶模拟训练系统是一种非常有效的训练手段和方式, 对新装备尽快形成保障能力、提高部队战斗力具有重大的军事经济效益。介绍驾驶模拟训练系统原理, 详细阐述车辆动力学建模、车辆动力及传动建模、视景系统开发、视景场景数据库的构建, 提出对驾驶模拟训练系统研制中故障处理看法及相应解决措施。该系统已研发成功, 为部队训练提供了科学、全新、高效的技术手段, 具有广泛的推广应用前景。

**关键词:** 模拟训练系统; 车辆动力学; 视景; 场景数据库; 发展趋势

**中图分类号:** TJ811 **文献标志码:** A

## Implementation of Driving Simulation Training System of Amphibious Armored Equipment

Sun Yongfu, Jia Qin, Huang Qiming, Tao Yuelong

(1. Armored Force Military Representatives Office of General Armament Department in Shanghai, Shanghai 200011, China; 2. Shanghai Electric Control Research Institute, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** The driving simulation training system is a very effective training method, which has the great military and economy benefit to the formation of guarantee ability and improving the combat effectiveness of the new armed forces. Introduce the principle of driving simulation training system, describe the vehicle dynamics model, vehicle dynamic, vehicle transmission model, visual system development, and visual scene database construction in detail. The paper put forwards the opinion on dealing with fault and relative measures. The system has been successfully developed, which has wide application fields. The system can provide scientific, new and high efficiency method for army training.

**Key words:** simulation training system; vehicle dynamics; visual; scene database; trend of development

### 0 引言

随着新型武器装备的大量列装, 对操作人员技术水平、操作熟练度、综合素质的要求越来越高, 一方面通过专业知识学习和培训提高人员科学技术和专业素养; 另一方面高逼真度的训练手段和方式可以有效提高人员武器装备实际操作熟练度, 最大效力地发挥武器装备战斗力。

模拟训练以安全、经济、可控、可多次重复、不受气候和时间及空间限制、既能常规训练又能进行特情训练、实现实训中无法进行的训练等独特优势, 一直受到各国军方的重视, 特别是武器装备日趋复杂和武器训练费用不断提高, 致使世界各国军事部门均将模拟训练系统视为军事训练必不可少、甚至唯一安全、经济而有效的方法和手段, 加以重点发展<sup>[1]</sup>。

美军是世界上最早开展模拟训练研究和应用

的国家, 其技术和装备一直居国际领先水平。为了满足高技术局部战争的需要, 20世纪80年代末, 美军开始将计算机作战模拟训练作为军事训练的基本手段, 同时还可通过卫星联网和计算机模拟实现大规模模拟军事演习。从20世纪90年代起, 美军把作战模拟器正式用于实战。而我国对模拟训练系统的研究起步较晚; 因此, 笔者对两栖装甲装备驾驶模拟训练系统(以下简称模拟训练系统)的实现进行研究。

### 1 系统组成

模拟训练系统是典型的人在回路仿真系统, 整个系统由3大部分组成: 训练人员、物理效应设备和模型解算系统。训练人员处于由物理效应设备模拟出来的感觉环境中, 包括视觉、听觉、触觉、动感和人机环境等, 模型解算部分为物理效应设备提供模拟感觉环境的仿真数据。原理如图1所示。

收稿日期: 2012-10-07; 修回日期: 2013-01-17

作者简介: 孙永富(1976—), 男, 内蒙古人, 硕士, 工程师, 从事车辆工程研究。

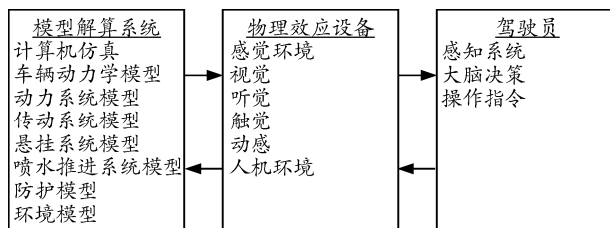


图1 人在回路的仿真系统

模拟训练系统的物理效应设备包括: 视景系统、音效模拟系统、操纵负荷系统、运动系统和模拟座舱。

## 2 主要功能

模拟训练系统具有全实物仿真驾驶环境, 并能够按安装要求进行驾驶操作训练, 能够模拟海上各种天气条件下的实际训练环境, 仿真实装在不同海况下的实际运动特性, 为驾驶操作人员提供高逼真的听觉、视觉、触觉和运动感觉, 使其沉浸在高逼真的实装训练环境中, 具有实装、实感、实景的特点。

物理效应设备为乘员提供真实的模拟人机环境, 包括视觉、听觉、触觉、动感和人机环境, 营造逼真模拟效果。模型解算<sup>[2]</sup>根据车辆的运行状态, 完成车辆运动性能模拟, 包含运动特性模拟、发动机特性模拟、底盘悬挂系统模拟等, 并接收场景、环境、操纵和状态设置等信息, 经实时解算, 向视景系统、仪表、运动系统、音效模拟系统输出车辆的位置、姿态、运行参数等信息, 实现驾驶训练模拟。

## 3 模拟训练系统关键技术

### 3.1 车辆动力学模型建立

动力学仿真软件的主要功能就是根据车辆的运行状态, 求出车辆所受到的总的外力和外力矩, 运用刚体动力学方程计算出车辆的加速度、速度、位置等信息。

由于两栖车辆自身的特点, 可以运行于水上、水陆和陆上3种状态, 所以对其进行仿真也需要对此3种情况区分对待。图2显示了这3种状态下车辆的受力状态<sup>[3]</sup>。

图2说明:

- 1) 重力: 地球引力产生;
- 2) 推力、推力矩: 喷水推进器产生的动力;
- 3) 水动力、力矩: 水的粘性和惯性作用产生的力, 包含阻力、升力等;

4) 水静力、力矩: 由于水的弹性作用产生的力, 如浮力、恢复力矩等;

5) 气动力、力矩: 空气的粘性和惯性作用产生的力, 如空气阻力, 在实际的计算中, 由于该力较小, 通常忽略不计;

6) 海浪力、力矩: 波浪的惯性引起的扰动作用产生的力;

7) 干扰力、力矩: 其他外部干扰产生的力, 如火炮射击、水流等;

8)  $\phi$ 为首上滑板和首下滑板夹角, 范围  $33^\circ \sim 180^\circ$ , 上下板展平  $180^\circ$ ;  $\beta$ 为首下滑板和车底夹角, 范围  $10^\circ \sim 29^\circ$ ;  $\delta$ 为尾翼板和车底夹角, 范围  $-3.5^\circ \sim 90^\circ$ (上为正, 下为负);  $PWJ$ 为火炮俯仰角, 范围  $-6^\circ \sim 50^\circ$ (上为正, 下为负);

9) 重心: 车辆各部分行程的垂直向下的合力作用点;

10) 浮心: 浮力的作用点亦即车辆排水体积的型心, 称为浮心。

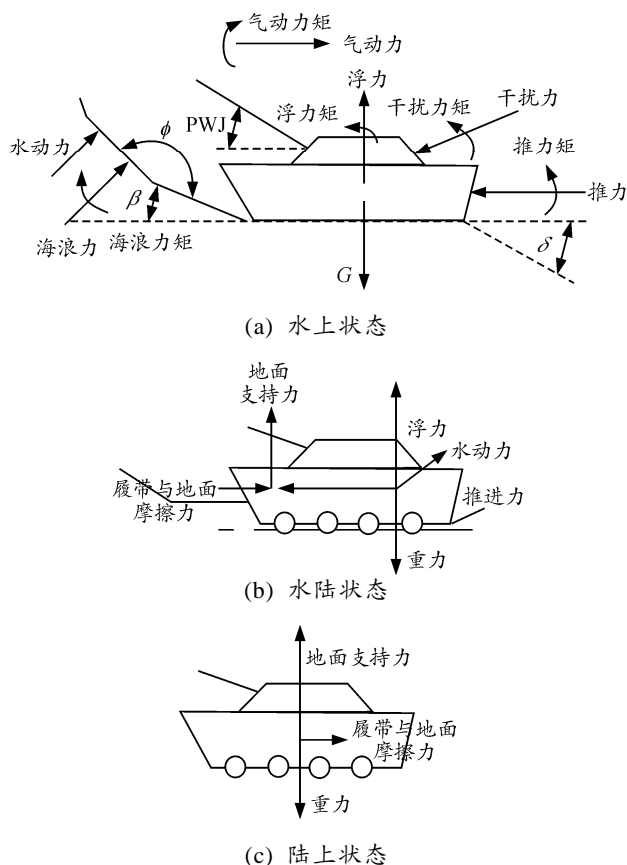


图2 车辆不同状态下的受力分析

动力学仿真的工作重点就是根据不同的运行状态, 计算车辆所受到的各种作用力。例如对两栖车辆进行动力学仿真, 建立如图3~5所示的仿真模型

框图,其主要由动力学方程模块、碰撞力计算模块<sup>[4]</sup>、底盘及悬挂系统模块、水动力及浮力计算模块<sup>[5]</sup>、发动机及传动系统模块、重力计算模块和 UDP 通信模块等组成。其中水动力与浮力计算模块根据当前的航行状态、海浪信息与驾驶员操作信息计算出车辆所受到的水动力和浮力;发动机及传动系统模块计算出车辆的驱动力<sup>[6]</sup>;底盘及悬挂系统模块计算出车辆所受到的地面作用力<sup>[7]</sup>;重力模块计算出车辆在其体坐标系上的重力分量;碰撞力计算模块则根据车辆的运动状态,计算出车辆与环境的碰撞力。而动力学方程模块将根据车辆运动所受的各种外力和外力矩进行综合后,计算输出车辆的运动状态。

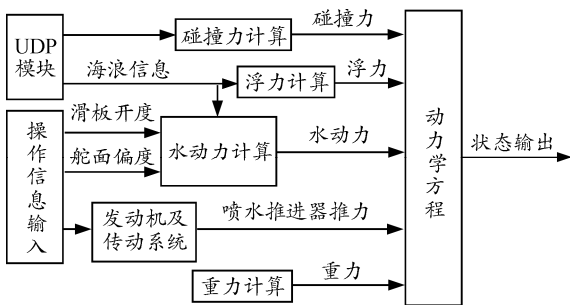


图 3 车辆水上运行时动力学仿真模型

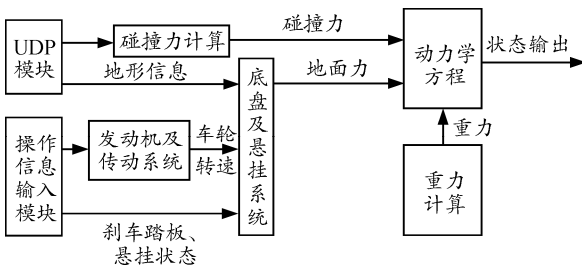


图 4 车辆陆上运行时动力学仿真模型

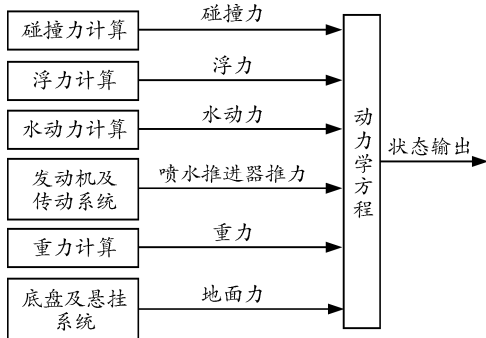


图 5 车辆水陆状态运行时动力学仿真模型

### 3.2 动力及传动模型建立

发动机和传动系统模型,主要计算在发动机的作用下车辆所受的推进力。该部分仿真了发动机、

传动系统、喷水推进系统的特性。

发动机及传动系统由发动机、传动箱、主离合器(或液力变矩器)、变速箱(或综合传动箱)、转向机和侧减速器等组成。发动机根据油门开度和负载调节输出功率,传动装置将发动机的功率传递到主动轮驱动车辆陆地行驶,按直向行驶要求改变车辆的行驶速度和牵引力,按转向的要求分别改变两侧履带的速度和牵引力,从而实现车辆的倒挡行驶、转向、车辆制动、停车和切断发动机动力等。动力由发动机传到主动轮,图 6 中箭头表示了动力传递的方向。

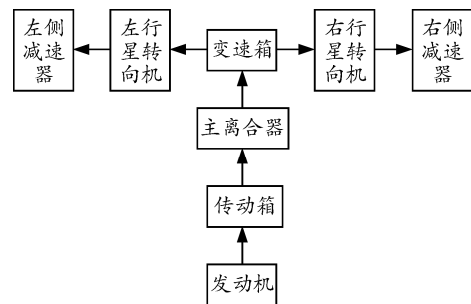


图 6 发动机及传动系统组成

根据动力及传动系统的组成,按照部件对系统进行模块化分解,将每个部件作为一个独立的整体,抽象部件之间存在的相互作用关系。采用总体法建立各个部件的仿真模型,具体包括:发动机模型、传动箱模型、离合器模型、变速箱模型、转向机模型和减速器模型等。

动力及传动系统与操纵负荷系统、音响系统、仪表系统和车辆仿真系统之间存在着信息交互。首先,发动机模型接收操纵负荷模型传入的油门开度和车辆模型反馈的负荷力矩,解算发动机转速和转矩;经过传动箱模型的传递使得转速提高,从而减小了后续部件所承受的转矩;进而离合器模型根据主离合器踏板的输入指令,切断或继续传递发动机动力;在离合器结合的状态下,变速箱模型接收换挡机构输入的档位信息,进行转速和转矩变换;随着动力的继续传递,转向机模型根据操纵杆和制动踏板的输入信息,实现车辆的转向和制动;最后动力经过减速器模型,再输出到车辆仿真模型进行车体动力学解算。同时,发动机转速和运行状态信息输出到音响系统,驱动音响系统发出相应的声音信息、转速和燃油流量输出到仪表系统驱动仪表指示。动力及传动系统部件模型及接口如图 7。

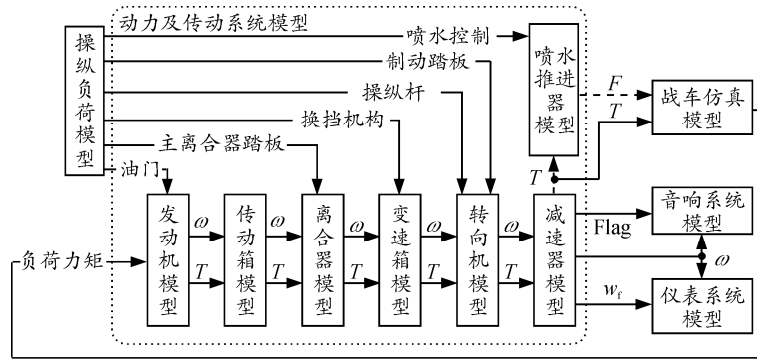


图 7 动力及传动系统部件模型及接口

### 3.3 视景系统的建立

视景系统由视景生成系统和视景显示系统 2 部分组成。视景生成系统负责完成所需场景图像的实时生成和渲染工作, 它包括图形工作站(成像计算机)、视景数据库和视景仿真软件, 决定着视景系统显示图像内容的丰富程度、逼真度、清晰度等技术指标。视景显示系统用来将视频信号转化成能够被人眼感知的光学影像, 该部分常使用一些必要的光学设备来增加影响的品质和逼真度。视场角、亮度、对比度等技术指标主要由该部分系统决定, 它还直接影响着系统的纵深感和沉浸感。整个系统的组成结构如图 8 所示。

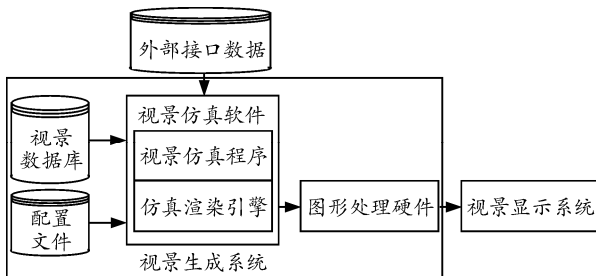


图 8 视景系统组织结构

视景生成系统通过外部接口数据实时接收实时仿真计算机系统解算的车辆姿态信号、控制指令及仪表系统的操作指令<sup>[8-9]</sup>, 通过动态调用数据库及实时模型构建相结合的方式生成当前虚拟场景相关的各场景对象, 仿真计算得到各对象的属性特征, 进而通过顶点处理、模型变换、投影变换、光栅化处理、像素处理等一系列操作获得虚拟场景图像<sup>[10-11]</sup>, 并输出到视景显示系统以光学影像的方式显示出来, 实现实时虚拟场景的动态生成。

视景显示系统主要通过硬件实现, 硬件的显示方式和性能指标根据具体需求确定。视景生成系统分为硬件与软件 2 部分, 软件部分包括视景数据库和视景仿真软件, 是系统开发的重点。图形工作站

是软件部分的载体及开发和运行的硬件环境, 它配合软件部分共同完成场景的实时渲染工作。

### 3.4 视景场景数据库的建立

为保证视景仿真程序实时、高效地运行, 需要预先进行仿真环境的建模, 建立相应的视景数据库。仿真环境的建模包括模型和场景的设计以及构造 2 方面的工作, 最终形成包含模型数据库和纹理数据库在内的视景数据库。

视景数据库是对虚拟环境及对象的描述, 是以某种形式数据结构存储的环境数据信息。视景数据库多采用树状的层次结构, 其中以节点的形式存储了场景的几何元素、纹理、变换、层次细节、材质、光源以及其他要素<sup>[12]</sup>。视景仿真运行过程中, 将对视景数据库进行遍历, 获取相应的场景数据信息, 完成相关的计算及渲染工作。另一方面, 树状层次结构为实时三维仿真提供了一种很好的视景场景模型数据的组织方式, 能够提供物体组织的一种层次框架, 有利于物体的空间结合和分解。从而可有效地保证包含多个物体的场景的执行效率, 在一个位置层次里结合物体, 可以有效地创建和维护包含大量移动物体的三维仿真, 并且提高虚拟仿真中物体的拾取和碰撞检测效率。

整个场景数据库所需的原始建模数据包括:

- 1) 特定试验场地的地形高程数据, 地形的卫星图片或航片, 地形文化特征数据。
- 2) 试验场地的地理位置信息, 场内典型物体的几何尺寸、布置及实物照片。

场地模型的建模流程如图 9 所示。首先根据需求, 确定模型的位置、范围、属性等, 完成模型的规划工作。然后根据模型规划确定及获取所需的原始数据源, 并对其进行处理和优化以满足建模的要求。将原始数据源导入数据库建模工具, 完成场地模型的建立与合成。建立后的视景数据库应当导入

视景仿真环境，以验证其是否能够达到系统规定的功能和性能的要求，若未达到则再次利用建模工具对模型进行修正至满足要求为止。

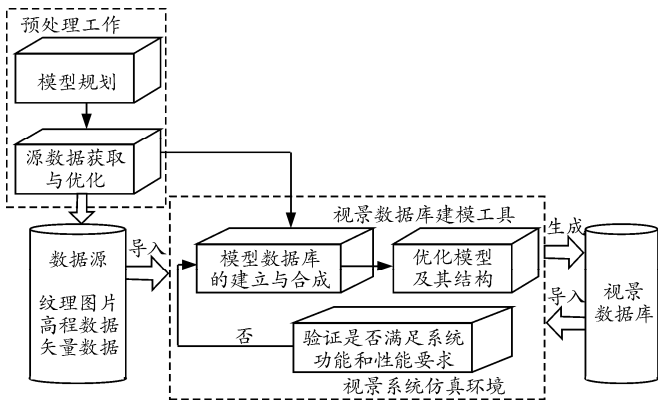


图 9 视景场景数据库建模流程

### 3.5 故障处理

故障处理是模拟训练系统研制中不可或缺的部分。根据系统的组成，其故障初步分为机械故障、电气故障、计算机硬件故障和计算机软件故障 4 类。

根据不同故障对模拟训练系统安全性、可靠性的影响程度，将 4 类故障类型所对应的故障分为 4 个级别进行处理：

#### 1) 报警。

报警是轻微的故障，表明当前系统处于不良的运动状态，只是对操作人员的一种提示，需要引起注意。

#### 2) 待机。

这是较低级别的故障处理，当系统出现非严重故障时，采用此处理方式。具体处理的方法是：出现这种级别的故障后，实时仿真计算机发出系统待机命令，运动系统由运动状态转换到待机状态，操纵负荷系统也由运动状态转换到待机状态，视景系统转换到初始设置状态。

#### 3) 退出。

这是较高级别的故障处理，当系统出现严重故障时，采用这种处理方式。处理方法为：实时仿真计算机发出停机命令，运动系统以较低速度回到最低位置，操纵负荷系统回到初始状态，音响系统回到初始状态，系统等待故障检测。

#### 4) 紧急退出。

这是最高级别的故障处理，当系统或出现紧急故障时，采用此处理方式。这种方式主要是在控制

室、试验大厅、驾驶舱内等不同位置设置急停按钮，出现紧急故障时，运行人员能够紧急停止模拟器的工作，从而保证人员和设备的可靠。

## 4 结论

模拟训练系统为部队训练提供了科学、全新、高效的技术手段，为全面加强部队基地训练、模拟训练、网络训练条件建设提供了重要的技术支撑，也为高新技术武器装备模拟训练系统的研制开发提供了新思路、新方法，对指导和促进新装备部队训练信息化建设具有重要意义。模拟训练系统可广泛运用于院校和训练机构的教学训练中，转变新装备人才培养能力生成模式，有效提高人才培养质量效益。目前两栖装甲装备模拟训练系统已成功研发，并列入装备购置计划。模拟训练系统具有很强的推广拓展功能，可以满足不同装备、不同人员、不同环境的训练需求，同时便于系统保障、维护和批量生产，具有广泛的推广应用前景。

## 参考文献：

- [1] 孙显营, 熊坚. 车辆驾驶模拟器的发展综述[J]. 交通科技, 2001(6): 48-50.
- [2] 郭齐胜, 李光辉, 张圭元, 等. 坦克综合训练模拟器的软件系统[J]. 系统仿真学报, 2001, 13(2): 213-215.
- [3] 张克健. 车辆地面力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002: 24-30.
- [4] 李晓燕, 殷宏, 高云飞. 虚拟战场中坦克的快速碰撞检测算法[J]. 指挥控制与仿真, 2006, 28(4): 78-82.
- [5] 李春燕, 范知友. 两栖车辆浮态计算方法研究[J]. 车辆与动力技术, 2009(4): 45-47.
- [6] 韩雪海, 刘侃, 周玉琬. 履带车辆行驶力学[M]. 北京: 北京理工大学, 1988: 43-50.
- [7] 丁法乾. 履带式装甲车辆悬挂系统动力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004: 56-58.
- [8] 谢希仁. 计算机网络[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008: 78-82.
- [9] 陈绥阳, 边倩, 陈晓范. 计算机网络技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2012: 49-50.
- [10] 彭国伦. 3D 绘图程序设计——使用 Direct3D 10/9 和 OpenGL 2.0[M]. 北京: 北京科海电子出版社, 2009: 65-72.
- [11] Donald Hearn. 计算机图形学[M]. 上海: 机械工业出版社, 2003: 45-52.
- [12] 朱安宏. 基于分形理论与纹理映射的 3D 海浪仿真[J]. 现代电子技术, 2009, 18: 67-69.