

doi: 10.7690/bgzdh.2024.05.005

## 面向实战训练的装备模拟训练系统

阳加远<sup>1</sup>, 任秀丽<sup>2</sup>, 洪东跑<sup>1</sup>, 周畅<sup>1</sup>, 刘宸宁<sup>1</sup>

(1. 中国运载火箭技术研究院, 北京 100076; 2. 首都航天机械有限公司, 北京 100076)

**摘要:** 针对传统模拟训练系统存在的问题, 设计一种由指挥模拟训练系统、通信模拟训练系统、特装车辆实景驾驶模拟器、测试发射操作模拟系统等组成的装备模拟训练系统。通过复杂环境下的无线通信仿真模拟、3 维地理信息高效采集与快速重建、特装车辆动力学仿真与运动控制、装备测试发射故障仿真训练等技术应用, 解决部队复杂场景通信仿真训练、复杂作战区域实景驾驶训练、装备操作与故障处置训练等需求。应用结果表明, 该系统可显著提升部队指挥人员、通信保障人员、作战人员的训练效率。

**关键词:** 实战化; 模拟训练; 通信仿真; 驾驶训练; 故障仿真

**中图分类号:** TP391.9 **文献标志码:** A

## Equipment Simulation Training System for Actual Combat Training

Yang Jiayuan<sup>1</sup>, Ren Xiuli<sup>2</sup>, Hong Dongpao<sup>1</sup>, Zhou Chang<sup>1</sup>, Liu Chenning<sup>1</sup>

(1. China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China;

2. Capital Aerospace Machinery Co., Ltd., Beijing 100076, China)

**Abstract:** In view of the problems existing in the traditional simulation training system, a kind of equipment simulation training system is designed, which is composed of the command simulation training system, the communication training simulation system, the special equipment vehicle driving simulator, and the test and launch operation simulation system. Through the application of wireless communication simulation in complex environment, efficient collection and rapid reconstruction of three-dimensional geographic information, dynamic simulation and motion control of special vehicles, and equipment test and launch fault simulation training, the requirements of complex scene communication simulation training, complex combat area driving training, equipment operation and fault disposal training are solved. The application results show that the system can significantly improve the training efficiency of commanders, communication support personnel and combat personnel.

**Keywords:** actual combat; simulation training; communication simulation; driving training; fault simulation

### 0 引言

作战部队能够熟练掌握装备的操作使用和作战运用方法, 是充分发挥装备作战效能, 提高部队实战能力的前提<sup>[1]</sup>。传统武器装备操作流程复杂, 操作动作繁多, 部队主要借助作战装备反复开展操作技能与使用流程训练, 存在流程训不全、指挥训不好、特情训不到、实战体验差、训练成本高等问题, 限制了部队作战能力的快速形成与生长。

随着计算机网络技术、信息技术的迅猛发展与广泛应用, 武器装备日益集成化、通用化、简操作, 实战能力大幅提升, 但与此同时军事训练要求和难度也大幅提升<sup>[2]</sup>。现阶段, 部队训练正逐步从操作训练向作战训练转变, 传统的实装操作训练已无法解决现阶段部队大规模实战化训练需求与降低训练成本、保持作战装备战备完好率的矛盾冲突。面向实战训练的装备模拟训练系统, 因其能够有效克服

实战演习训练中受时间、环境和人力、物力、财力的限制的突出特点<sup>[3]</sup>, 已成为部队战斗能力生成的重要手段。构建贴近实战背景的训练模拟器, 开展高逼真装备作战场景模拟仿真也已成为模拟训练技术研究和工程应用的主要方向<sup>[4]</sup>。

在此背景下, 为满足部队实战训练场景下的作战指挥、通信保障、作战行动、火力打击等要素独立训练和协同演练需求, 笔者设计一种实战化装备模拟训练系统。通过在室内环境下构建贴近实战背景下的训练仿真环境和操作模拟器, 实现了作战指挥、通信组网、机动驾驶、作战发射等流程训练和面向实战任务的全要素协同训练, 具有成本低、效果佳、灵活拓展等特点, 大幅提升了训练效益。

### 1 实战化模拟训练需求

#### 1.1 复杂场景指挥通信仿真训练需求

在实际作战与装备对抗训练中, 战场通信环境

收稿日期: 2024-01-23; 修回日期: 2024-02-25

基金项目: 装发共用技术 (JZX7Y20220302000101)

第一作者: 阳加远 (1992—), 男, 安徽人, 硕士。

十分复杂，通信信号、作战数据传输质量经常受环境地形、气象、通信装备部署位置与方向、通信手段、敌方干扰等多种因素影响<sup>[5]</sup>，很大程度影响了实际作战效能发挥。传统的指挥通信训练主要集中在指挥业务流程和通信配置操作上，无法反映地理环境、敌方特情、装备状态变化等因素对指挥通信的真实影响。

为提升部队在复杂电磁环境下的信息化作战能力，亟需在训练网络环境下，以数字仿真、半实物仿真等形式精确模拟战场通信训练环境，实现战场地理环境、气象条件、装备部署、通信方式、敌方干扰等因素对指挥通信设备作战效能发挥的影响仿真模拟，考验指挥通信人员处置操作能力，以较低成本达到实战化指挥通信训练目的。

### 1.2 复杂作战区域实景驾驶训练需求

大型特装车辆集武器装备存放、运输和发射等多种功能于一身，是机动武器系统的重要地面设备之一。提高驾驶员的驾驶水平，帮助战斗人员熟悉战场环境是提高装备机动发射能力，提升装备战斗力的重要措施之一<sup>[6]</sup>。车辆驾驶模拟器作为一种能够真实模拟驾驶动作和感觉的仿真设备，能为驾驶者营造一个具有沉浸感、实时连续的驾驶场景，提供身临其境的视觉感受<sup>[7]</sup>，具有成本低、安全性高、限制因素少等优点，在车辆驾驶培训方面得到了比较广泛的应用<sup>[8]</sup>。

在实际应用上，现有模拟训练场景多采用人工构建，无法满足复杂作战区域下特别是隐蔽特战区域的真实驾驶训练需求，需构建一种基于真实作战场景的驾驶训练虚拟视景快速采集重建系统，实现训练场景随地采集、快速重建和使用，实现实战背景下的高逼真模拟驾驶训练。

### 1.3 装备操作与故障处置训练需求

装备操作与故障处置训练一般通过由实装产品、仿真模拟器、等效器、故障注入设备等组成的装备操作训练模拟器开展。

为满足部队大规模、高强度、实战化训练需要，装备操作训练模拟器需在确保与实装完全一致的操作体验的前提下，大幅降低研制生产成本。同时，针对复杂特情训不到、训不真、考核难的问题，装备操作训练模拟器需具备技术特情临机注入、故障现象逼真在线、训练过程自动记录等功能，并支持自动、手动考核评价。

## 2 装备模拟训练系统设计

### 2.1 系统组成

基于上述需求，设计一种基于实战仿真的模拟训练系统，由指挥模拟训练系统、通信模拟训练系统、特装车辆实景驾驶模拟器、测试发射操作模拟系统、训练导调控制系统、音视频监控系统、训练分析与评估系统组成，组成关系如图 1 所示。

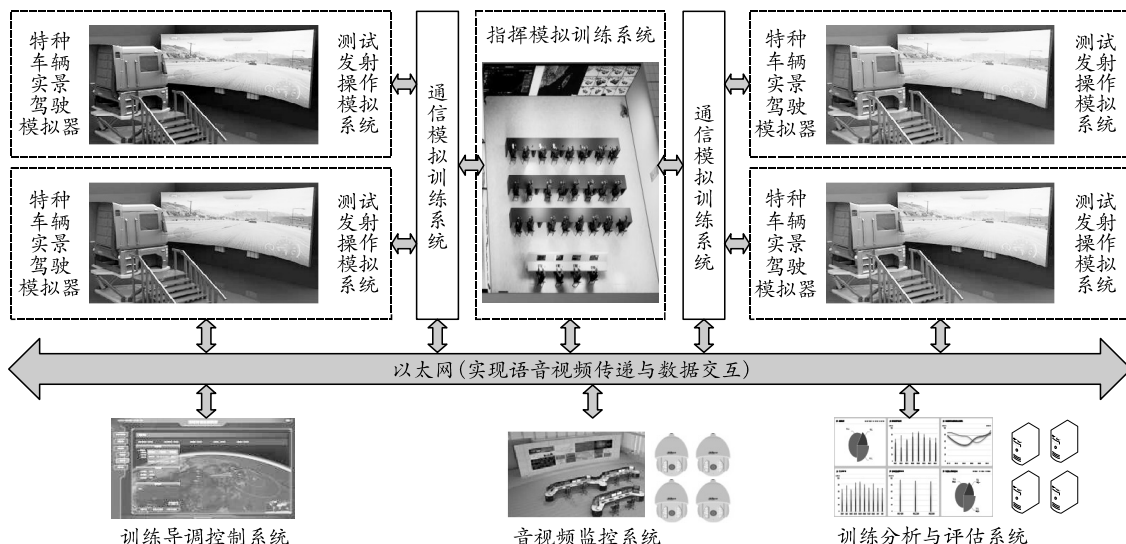


图 1 基于实战场景仿真的模拟训练系统组成架构

指挥模拟训练系统主要用于旅营级指挥员开展复杂战场下作战指挥、火力规划、行动筹划等训练。

通信模拟训练系统主要用于综合通信车、通信中继车等的通信保障人员开展复杂战场下通信筹

划、网络规划、电磁频谱检测等训练。

特装车辆实景驾驶模拟器通过运动与视景仿真技术构建室内场景下的机动驾驶训练环境，用于装备驾驶员开展野外机动驾驶训练。

测试发射操作模拟训练系统部署在模拟驾驶舱或地面机柜中，主要用于装备作战操作号手开展装备操作与故障处置训练。

训练导调控制系统包括训练任务编排和管理、训练特情生成与临机下发、训练过程控制等功能，用于组训人员开展训练方案编排与训练过程导调控制。

音视频调度监控系统包括摄像系统、语音调度系统，主要实现训练调度控制、过程数据采集与监控，采集的信息存储到训练分析与评估系统中的数据中心中，用于训练监控和考核评估分析参考。

训练分析与评估系统由数据中心、流程监控系统、3 维态势系统、参数分析系统、考核评估系统组成。数据中心用于采集训练系统状态参数、人员操作数据、音视频数据等训练过程数据并进行高效处理、存储、分发。流程监控系统主要采集获取训

练系统当前的操作信息，以虚拟面板的形式展示各岗位操作设备状态和操作现象，可用于组训指导和教学观摩，为评估和讲评提供依据。3 维态势系统根据各模拟训练单元的模拟 GPS 信息、驾驶姿态信息、操作训练信息等，同步展示作战训练全局 3 维态势、各模拟训练单元状态，可用于首长观摩指导和教员讲评。参数分析系统通过多种形式的图标、曲线，直观展示各训练系统的状态参数。考核评估系统主要通过建立训练科目的评估指标体系，综合训练过程数据给出的自动评分和专家手动评分，形成面向整体和单一岗位的分层次评估结果。

## 2.2 交互关系与使用流程

各系统间通过以太网实现各信息传输，交互关系如图 2 所示。

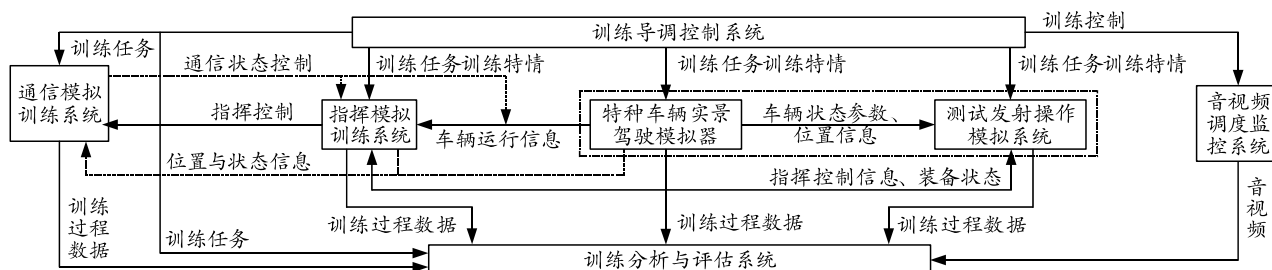


图 2 装备模拟训练系统交互关系

### 1) 训练想定。

组训人员在训练导调控制系统中编排作战背景，设定本次作战任务，部署敌我双方兵力、战场环境等初始态势，并完成各系统参数和状态值的初始化。指挥人员根据获取作战背景、作战任务等信息，根据上级作战意图，进行作战筹划。

### 2) 训练执行。

指挥人员依托指挥模拟训练系统和通信设备，依令指挥作战分队、通信保障分队等专业力量依托相应模拟训练系统开展行动。在执行过程中，各训练系统将位置、状态等信息发送至通信模拟训练系统进行各节点间通信链路仿真，营造逼近实战的通信训练环境。训练过程中，各节点指挥信息、行动数据将实时采集上报至训练分析与评估系统进行态势展示。组训人员可根据训练需要，依托训练导调控制系统下发技战术特情。

### 3) 训练评估。

训练结束后，组训人员依托训练分析与评估系统构建评估指标体系，采取定量为主、定性为辅的方法开展复盘分析和综合评估，并结合历次训练数据，利用数据分析挖掘工具进行统计分析。

## 2.3 指挥模拟训练系统设计

指挥模拟训练系统由上级模拟系统、作战指挥软件系统、指挥控制平台系统、通信网络系统、安全保密系统等组成。上级模拟系统采取自动模式，根据训练导调控制系统下发的训练任务，自动生成指挥指令和作战任务包，驱动下级指挥系统运转。作战指挥软件系统在实装指挥软件基础上进行改造，可按照接收训练导调控制系统指令并项训练分析与评估系统提供数据。指挥控制平台系统主要由计算机终端、语音终端、与实装一致的调度平台、时统设备等组成，可为训练人员提供操作实体，进行数据、语音、图像等手段下的指挥训练。通信平台系统主要由网络交换设备组成，通过网络划分，可满足模拟系统对上、对内等正常通信需求，另外通过对外提供数据接口，可上报训练数据、接收导调数据。安全保密系统采用实装系统，主要为宽带数据、语音提供加解密服务。

## 2.4 通信模拟训练系统设计

通信模拟训练系统由通信操作训练设备、通信训练终端、通信环境模拟器、通信网络状态控制器

等组成，典型指挥通信训练节点间的部署网络如图 3 所示。

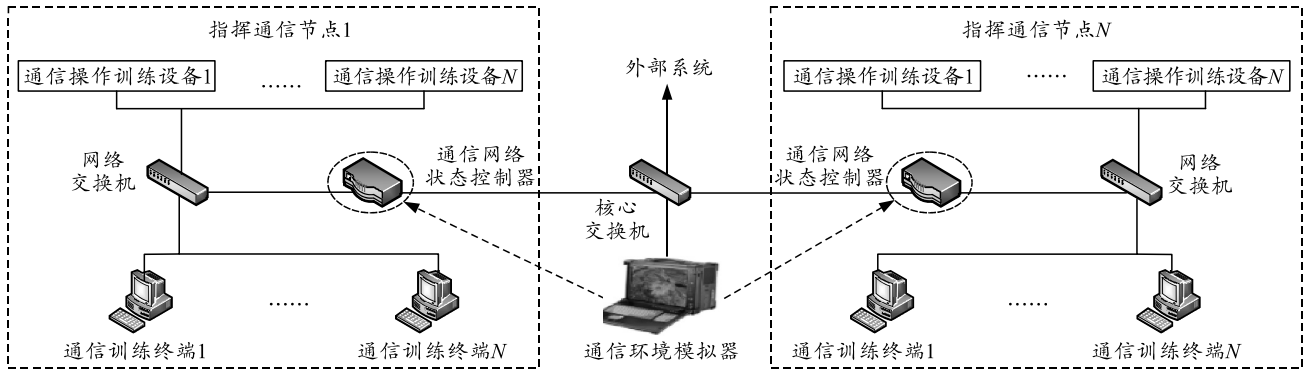


图 3 指挥通信模拟训练系统网络拓扑

通信操作训练设备、通信训练终端用于通信人员开展通信作业训练，设备界面、操作流程、现象与实装完全一致。通信环境模拟器基于 GIS 3 维场景引擎，根据训练作战场景想定和通信方式，构建各种有线、无线通信信道模型并描述各种组网模式，实现复杂环境、电磁等干扰下的通信仿真分析和实时解算（包括信道建立时间、传输时延、传输速率、信道通断、误码率等），并通过通信网络状态控制器实现通信状态控制。通信网络状态控制器一方面接收通信操作训练设备和通信训练终端设定的通信配置信息，模拟对应的通信方式下的通信特征；另一方面通过控制传输延时、传输速率、信道通断、误码率等，实现通信节点上的各训练终端、软件在各种有线、无线通信环境下的实际使用效能模拟。

### 2.5 特装车辆实景驾驶模拟器设计

特装车辆实景驾驶模拟器由模拟驾驶舱、模拟运动平台、虚拟视景仿真系统、运动控制系统等组成，组成及接口关系如图 4 所示。

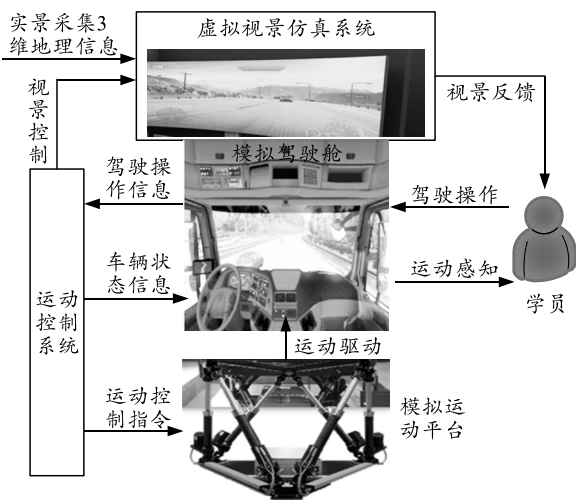


图 4 特装车辆实景驾驶模拟器组成

模拟驾驶舱固定于模拟运动平台之上，舱内转

向、油门、制动、离合等操作机构、各种开关按钮以及仪表盘与真实驾驶舱完全相同。在模拟驾驶训练过程中，模拟驾驶舱内布设的各类信号采集板卡和传感器将驾驶操作信息实时采集并传输到运动控制系统中进行处理。

模拟运动平台是车辆驾驶模拟器的动感生成机构，采用电动六自由度平台模拟。电动六自由度运动平台由 1 个活动平台、1 个固定平台和 6 个执行电动缸组成，与模拟驾驶舱之间采用刚性连接。伺服驱动机构在接收运动控制系统下发的运动控制指令后，驱动 6 个电动缸进行伸缩运动，进而推动活动平台在空间 6 个自由度  $(X, Y, Z, \alpha, \beta, \gamma)$  运动，可模拟出各种空间运动姿态。

虚拟视景仿真系统利用计算机图形图像技术，在实景采集 3 维地理信息的基础上，快速重建出 3 维沉浸式训练虚拟场景，通过三通道环幕投影系统进行视景展现，并根据驾驶舱的驾驶操作和姿态进行视景动态切换。

运动控制系统用于控制模拟运动平台、模拟驾驶舱和虚拟视景仿真系统的协调动作，调度和协调各系统的同步运行。

### 2.6 测试发射操作模拟训练系统设计

测试发射操作模拟训练系统由半实物训练模拟器、数字装备仿真系统、地面测试发射仿真系统、逻辑控制服务器组成，如图 5 所示。

半实物训练模拟器是指由外观仿真面板、操作器件和嵌入式控制板组成的低成本操作模拟器。模拟器采用硬件仿真技术、网络通讯技术、计算机编程技术对实物装备进行仿真，外观上设计和实物一模一样的硬件操作面板界面，利用底层标准化的电路驱动元件采集输入信号、控制输出信号，由计算机负责信息处理，逻辑判断和其他拓展功能，确保

模拟器外观、操作流程与实装严格一致。

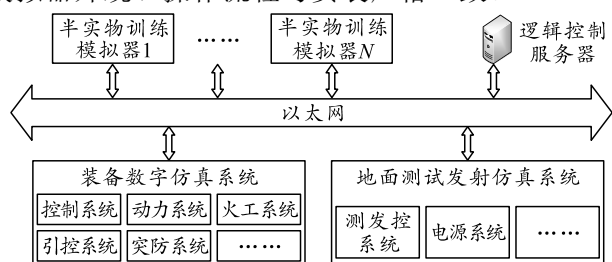


图 5 测试发射操作模拟训练系统组成

数字装备仿真系统和地面测试发射仿真系统均采用全数字仿真方法，利用仿真技术和虚拟仪器仪表技术，建立装备和地面测试发射系统的数字仿真模型，配合半实物训练模拟器操作流程和故障信息注入，实现装备功能性能、虚拟测试、飞行模拟、设备故障等仿真。

逻辑控制服务器是系统的逻辑控制中枢，根据获取的半实物训练模拟器操作信息、仿真系统的仿真状态，进行测试发射逻辑判断，驱动半实物训练模拟器进行正确的状态显示。

### 3 关键技术研究及验证

#### 3.1 复杂环境下的无线通信仿真模拟技术

复杂战场环境无线通信仿真需解决复杂电磁环境多维度建模仿真、无线通信装备建模和通信信道仿真评估及效能模拟问题。

针对复杂电磁环境多维度建模仿真，系统采用基于装备级、系统级、参数级的多维度信息表达方式，基于空域、时域、频域和能量域等多域建模，和基于实体态势、环境态势的综合可视化描述，实现多维度、多粒度、结构化与可视化态势融合表征的复杂战场电磁环境建模仿真。针对通信装备电磁特性建模难题，采用一种基于无线电频谱特性测量结果构建的通信装备特性建模方法，实现典型通信装备特性仿真。针对通信信道仿真评估和效能模拟问题，基于电磁环境组成和变化规律，构建通信装备、地理环境和电波传输等因素融合的电磁环境描述、各类无线通信信道模型和各种无线通信组网模式描述，实现干扰、环境影响下的信道建立时间、传输时延、误码率、传输速率和信道通断等状态的仿真评估，通过控制以太网交换机的信息传输实现以太网网络环境下的无线通信效能模拟。

典型的战场无线通信仿真系统组成架构如图 6 所示，利用 GIS 系统和装备实体模型提供 3 维环境，通过模拟部队作战或行动方案，包括作战意

图、力量编成、兵力部署、行动规划、通信指挥关系、气象环境设置等，布设战场环境，形成用频装备受电磁影响的复杂电磁环境。根据辐射源模型、电波传播模型以及地形、气象条件实现作战区域的电磁计算，控制通信网络状态控制器实现通信链路仿真。经过典型场景下的测试验证，系统可实现各类地形地貌、气象条件下的卫星、短波、超短波、无线宽带等无线通信仿真模拟，信道通断仿真测试正确率达到 100%，通信链路传输时延控制可精确到毫秒级。

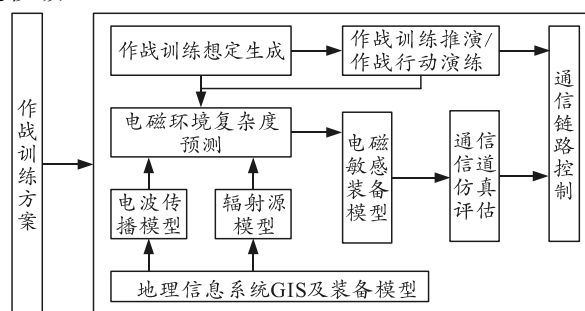


图 6 复杂环境下的无线通信仿真系统组成架构

#### 3.2 特装车辆动力学仿真与运动控制技术

特装车辆实景驾驶模拟器所模拟的内容中，车辆动力学性能仿真与运动控制最为关键。车辆运动控制一般采用多自由度运动平台模拟，通过提供加速度、旋转等效果模拟使得驾驶人获得更逼真的驾驶体验<sup>[9]</sup>。

在动力学性能仿真方面，考虑到特装车辆结构复杂、多自由度、元件之间的相互作用存在大量非线性过程以及耦合作用等情况<sup>[10]</sup>，首先对复杂系统抽象和简化，再结合车辆动力学理论，对特装车辆发动机、传动系(包括变速器、传动轴、主减速器、驱动轴等)、制动系(脚刹、手刹等)、转向系(方向盘、转向车轮等)、车轮、车身等各动力元件(对象)的运动特性进行数学建模，搭建车辆控制模型。

在运动控制方面，为利用六自由度平台在有限的运动空间复现出车辆在真实驾驶时的运动感觉，在驾驶仿真计算出来的车辆运动与运动系统运动指令之间需设计出算法，来保证模拟器在完成一次突发运动后，以低于人的感觉阈值(0.02 g)的平缓运动完成运动洗出回到中立位置，以便有足够空间进行下一次运动。系统采用的洗出滤波控制算法如图 7 所示，被模拟车辆的学员头部的比力首先经过一个比例环节进行缩放，以保证最大比力的输入要求。经过比力环节后变换为惯性坐标系中的比力，与重力向量加和后得到运动加速度，经过高通滤波

器后滤掉其中能够使平台运动超限的低频分量，得到平台平动加速度，经过 2 次积分得到平台的平动位置。同样，被模拟车辆的角速度首先经过一个比例环节进行缩放，以保证最大角速度输入要求。经过比例环节后变换为欧拉角变化率，经过高通滤波器后滤掉其中的能够使运动超限的低频分量，得到

平台的高通欧拉角变化率，积分后得到平台的高通欧拉角；另一方面，经过比例环节后的比力通过低通滤波器得到的低频比力。通过倾斜协调方法复现低频比力需要使平台产生一个附加的欧拉角。经过角速度限幅后的欧拉角与高通欧拉角相加得到平台的欧拉角。

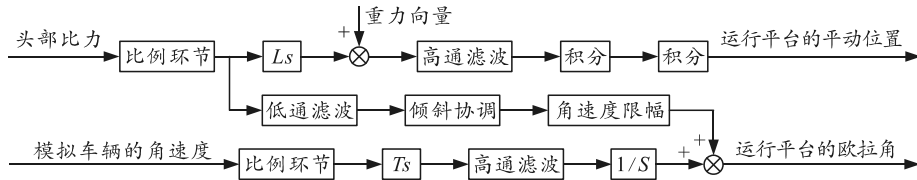


图 7 运动平台控制算法

### 3.3 3 维地理信息高效采集与快速重建技术

3 维地理信息高效采集与快速重建需解决大范围场景的高效采集和 3 维场景快速重建问题。本系统通过在机动车上装配定位定姿系统、全景相机及激光扫描仪设备，在车辆行进之中，实现周围场景的空间位置数据和属性数据的高效采集；通过 3 维重建技术，在适当的人工辅助下实现了可满足驾驶训练需求的驾驶场景快速重建，其流程如图 8 所示。

畸变较大的情况，为满足最终的近景移动测量精度和用户体验要求，采用较大畸变 CCD 相机的畸变校正和同名点匹配技术，实现了测量精度不低于 10 cm。针对复杂使用环境下的定位问题，采用一种自适应的 GNSS 与惯导组合导航算法，实现了定位精度不低于 0.5 m，航向精度优于 0.8°，姿态精度优于 0.5°。

在 3 维场景快速重建方面，采用一种基于几何语义先验的体素多类别标记 3 维表面模型重建方法，如图 9 所示，首先从采集的数据出发，引入 3 维几何信息，联合不同维度特征，构建几何分析-语义识别的联合优化算法模型，解决采集数据的几何识别和语义理解的精度问题，为大规模 3 维重建技术提供先验信息支撑；再以多视角图像为输入，充分挖掘作战场景对象语义信息，利用与语义相关的几何先验算子拟合表面法向量并提取表面，从而实现 3 维表面模型的完整度、精度的提升，同时实现 3 维场景模型的简化。经过典型场景验证，该方法可实现 500 m×500 m 范围内作战场景重建完整度不低于 93%，模型精度不低于 0.8，初始点云生成及后期模型处理时长不高于 5 h。

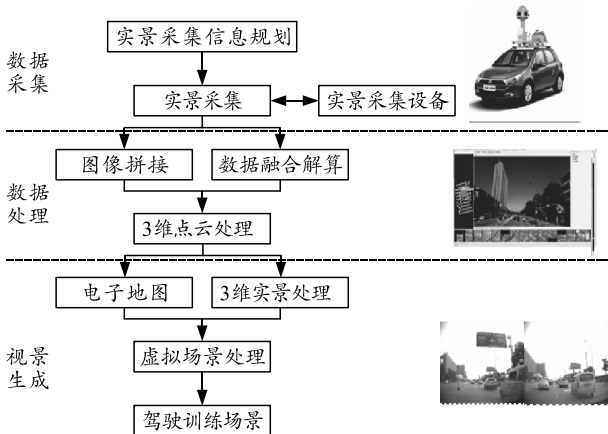


图 8 3 维场景采集与重建流程

在场景高效采集方面，针对广角相机拍摄影像

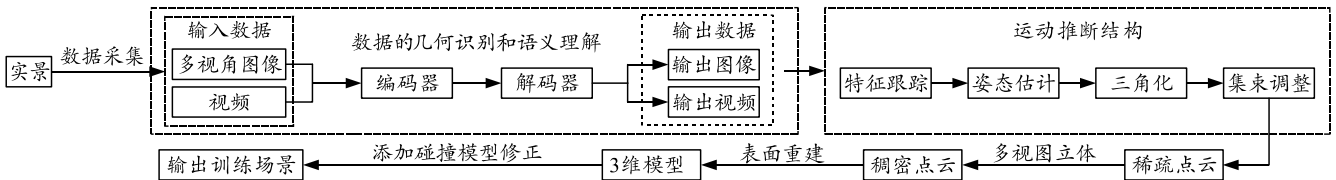


图 9 基于几何语义先验的体素多类别标记 3 维表面模型重建方法

### 3.4 装备测试发射故障仿真训练技术

为实现大型复杂系统故障仿真训练，一般要求故障要依赖产品模型与逻辑模型实现；故障响应和传递要按照模型逻辑自动实现；故障注入要通过模型参数化实现，即可通过修改个别参数实现故障设

置，故障现象和故障数据根据模型计算产生；故障模拟应具备随机和可控两种模式，满足训练与考核需要<sup>[11]</sup>。

笔者提出一种基于流程仿真的故障训练方法，如图 10 所示。流程仿真驱动引擎是核心，基于故障

类型库、状态数据库和交互规则数据库运行，具有流程仿真、单元驱动、故障注入、通信接口等基本功能。故障仿真是通过建立发射流程过程中可能出现的流程故障类型库，通过故障码和故障类型进行标识，来实现装备多种故障的基本定义。装备单元

(是指在装备所涉及的每一个运行单机、部件等)运行逻辑仿真是指对单元的输入输出和在多种正常状态及故障状态的逻辑变化进行定义，来仿真装备单元的基本运行逻辑。可接收故障注入指令，改变单元运行状态、逻辑和输入输出方式。

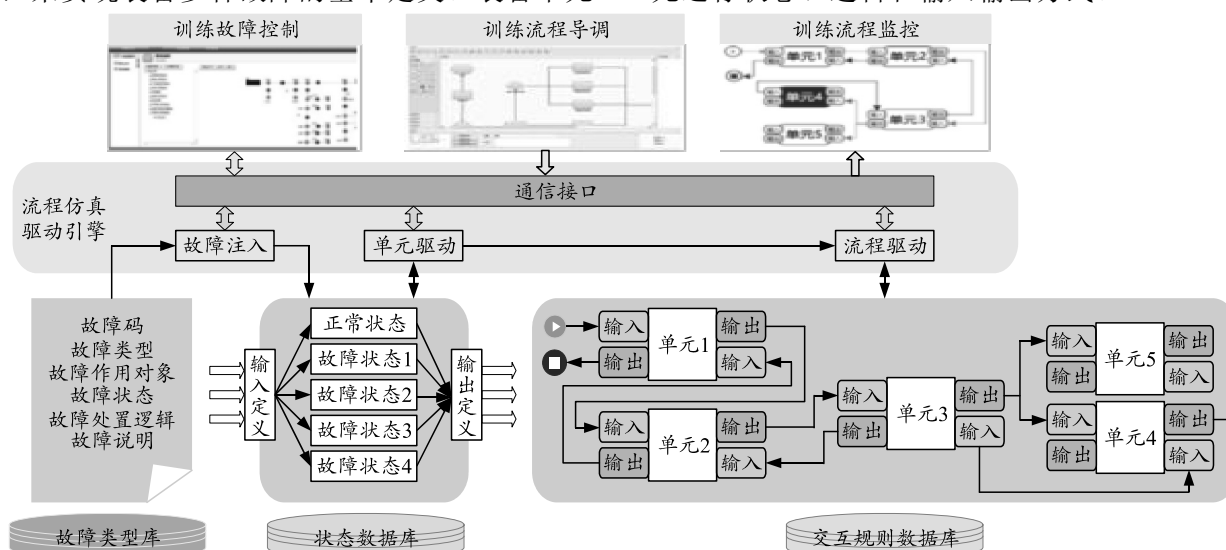


图10 基于流程仿真的故障训练运行原理

装备流程仿真基于装备内部逻辑的交互规则数据库运行，首先采用流程控制面板绘制和定义装备内部逻辑的运行流程，即定义各个单元的运行次序、相互接口和交互关系；再通过流程仿真对运行流程进行仿真驱动，完成装备整体的运行流程仿真。由于可定义部分单元为故障状态，因此可以仿真演示不同故障状态下运行流程的逻辑变化，展现故障现象。流程监视面板采用直观的流程图来展现流程运行情况和故障点所引起的故障现象。

#### 4 结束语

笔者通过需求分析和系统论证，提出一种面向实战训练的装备模拟训练系统。对系统总体架构、接口关系和各组成部分进行设计，并对复杂环境下的无线通信仿真模拟技术、3维地理信息高效采集与快速重建技术、特装车辆动力学建模与运动控制技术和装备测试发射故障仿真训练分别进行分析，解决了内场环境下指挥通信训不到、训不真，车辆驾驶场景不真实、体验差，装备操作训练成本高、故障训不到等问题，实现了贴近实战背景的集指挥筹划、通信作业、装备操作、车辆驾驶、故障处置和考核评估分析等功能于一体的模拟训练。应用结果表明：该系统及其相关技术成果对提升部队实战水平，促进战斗力的快速生成具有较为重要的意义。

#### 参考文献：

- [1] 李波, 郑绍钰. 对新装备形成战斗力的几点思考[J]. 装备指挥技术学院学报, 2003, 14(5): 17-19.
- [2] 丁爱平, 赵国芬, 周华. 论军事高科技的战略地位[J]. 国防科技, 2007(10): 18-20.
- [3] 陈俊. 某型装备模拟训练系统研究与设计[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [4] 郑超. 信息化条件下的训练装备体系研究[J]. 信息技术与信息化, 2020(1): 220-224.
- [5] 易晓蓉. 复杂电磁环境下装甲部队通信干扰与抗干扰探析[J]. 电子科技, 2009, 22(12): 44-47.
- [6] 刘旭宏, 于传强. 大型特种车辆驾驶辅助训练与考核技术研究[J]. 现代电子技术, 2019, 42(5): 32-35, 39.
- [7] 倪涛, 张红彦, 赵丁选, 等. 大型特种车驾驶模拟系统视景引擎开发[J]. 北京理工大学学报, 2011, 31(8): 892-894.
- [8] 陈俊. 车辆驾驶模拟器视景仿真技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [9] 胡淦. 基于洗出滤波算法的六自由度汽车驾驶模拟实验平台设计开发[D]. 北京: 北京交通大学, 2017.
- [10] 刘浩学, 杨俊, 任涓. 汽车动态驾驶模拟器运动系统分析及数学建模[J]. 西安公路交通大学学报, 2000, 20(4): 81-83.
- [11] 李兵. 基于HLA的大型航天系统测试发射故障仿真研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.