

doi: 10.7690/bgzd.2023.08.005

步兵分队实兵仿真训练系统设计

刘官树, 谢娟, 许锦

(陆军步兵学院演训中心, 南昌 330103)

摘要: 基于当前步兵分队战术教学训练中存在的场地单一、敌情简单、训练粗放的问题, 设计步兵分队实兵仿真训练系统。分析步兵分队战术需求, 重点介绍系统的总体设计、软硬件体系结构及接口设计, 指出系统构建的关键技术。结果表明, 该系统对推动步兵分队战术教学训练实战化具有借鉴意义。

关键词: 步兵分队; 实兵仿真; 系统设计; 关键技术; 实战化

中图分类号: TJ06 **文献标志码:** A

Design of Real Soldier Simulation Training System for Infantry Unit

Liu Guanshu, Xie Juan, Xu Jin

(Maneuver Training Center, Army Infantry Academy, Nanchang 330103, China)

Abstract: Based on the problems of single field, simple enemy situation and extensive training existing in the current tactical teaching and training of infantry units, the real soldier simulation training system of infantry units is designed. This paper analyzes the tactical requirements of infantry unit, focuses on the overall design, software and hardware architecture and interface design of the system, and points out the key technologies of system construction. The results show that the system has reference significance for promoting the tactical teaching and training of infantry units.

Keywords: infantry element; real soldier simulation; system design; key technology; actual combat

0 引言

当前, 步兵班组级别的战术训练, 通常采取实地实装方式实施。受训练条件限制, 训练还存在: 场地单一贫乏、无法满足步兵“全域作战”使命任务的问题; 敌情设置过于简单, 无法锤炼受训者临机处置能力的问题; 训练过程不可精确控制、训练进程无法回放评估的问题; 训练数据无法收集整理、单位时效不高的问题^[1-2]。

从改善训练条件的角度入手, 笔者设计了步兵分队实兵仿真训练系统, 该系统采用分布式仿真体系结构^[3], 基于模块化、组件化设计思想, 综合运用 VR 技术、大空间定位和动作捕捉技术、地物构件快速设置和映射以及分布式互联^[4]等技术, 创设出一个“虚拟视觉和真实触觉精确对应”“车辆操作与徒步战斗的衔接”“有限场地和无限空间有机融合”的逼真战场环境, 支持训练人员通过沉浸式虚拟场景、半实物仿真装备、半实物地物组件、虚拟敌方兵力^[5-7]的实现形式开展攻击建筑物、防守建筑物、侦察、引导打击、搜索、巡逻、围剿、警戒等步兵班常用战术训练。

1 系统功能需求分析

1) 支撑步兵班组实兵战术训练。

根据战术想定, 构造近似真实的战斗任务场景。受训步兵班成员佩戴 VR 设备、仿真武器等, 置身于逼真的虚拟场景中, 围绕战斗任务开展战斗组织、战斗协同等战术行动训练。承训课目包括步兵班攻击建筑物行动、步兵班防守战斗阵地行动、步兵班防守建筑物行动、步兵班巡逻行动、步兵班引导打击行动、步兵班搜索行动、步兵班围剿行动、步兵班破袭行动、步兵班侦察行动、步兵班警戒行动和步兵班战术综合演练等。

2) 支撑步兵班人车协同训练。

在战场环境仿真系统中接入各类型的平台综合模拟器, 实现平台操作与下车战斗的步兵间的协同训练。可支持的平台综合模拟器包括但不限于: 防护型突击车、各型步战车、各型装甲输送车。

3) 支撑训练评估和考核。

根据记录的训练数据对受训人员的各项技能进行客观、公正评估, 并指出具体存在的问题和下步改进的措施建议。

收稿日期: 2023-04-13; 修回日期: 2023-05-20

作者简介: 刘官树(1989—), 男, 江西人, 硕士。

4) 支持步兵班战法创新试验和验证。

构造近似实战的训练条件，对步兵班的战法创新提供试验和验证支持。

2 系统方案设计

2.1 系统总体设计

根据实兵仿真训练系统的功能需求，设计室内大空间定位、单兵穿戴式交互、轻量化地物组件、虚拟仿真、训练管理 5 个分系统，如图 1 所示。

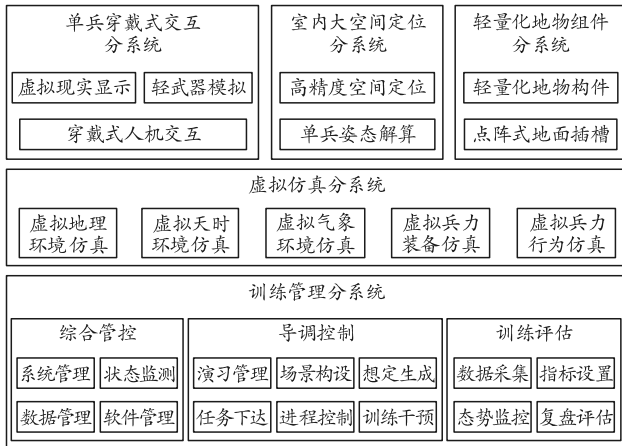


图 1 步兵分队实兵仿真训练系统组成

室内大空间定位分系统能够实时采集受训对象、地物组件及模拟运载平台的精确位置信息，并解算受训对象的姿态动作信息，通过虚拟仿真平台进行渲染和仿真计算。

单兵穿戴式交互系统能够实时获取虚拟仿真平台的 3 维视景图像数据，经过图像处理渲染到 VR 头盔中；实时获取室内大空间定位系统解算出的人体姿态动作数据，转换成虚拟仿真平台支持的数据格式，通过虚拟仿真平台完成人体姿态动作渲染；实时获取仿真武器或其他交互设备的硬件控制信号，转换成格式化的输入数据，通过仿真平台完成交互响应。

虚拟仿真分系统是整个系统的图像渲染和仿真计算中心，它是以虚拟仿真平台为支撑的二次开发应用，处理与所有其他分系统的交互接口，为整个训练场所部署的各个功能系统提供基础的运行支撑；同时，负责整个训练过程中仿真计算底层支撑服务、仿真进程管控底层支撑服务、仿真数据的实时记录底层支撑服务等。

轻量化地物组件分系统是整个系统的体感提供者，也是提升系统实战水平的重要支撑。根据不同的训练想定，按照现地地物组件与虚拟 3 维景况精确映射的要求，通过在地面插槽上快速插拔各种型

制的轻量化地物构件(标准规格的板、柱、垛、包、坑、沟及其他特定的武器、车辆等组件)，构造逼真的战场体感，弥补单纯虚拟现实显示设备在体感方面存在的严重不足，营造“所见皆可触”“所触即所见”的逼真战场环境，解决无平台徒步作战在战场环境模拟方面的重大难题。

训练管理分系统能够实时监测训练过程中的训练设备状态，对异常状态进行语音示警；能够集中控制训练设备的开机、关机、重启，控制训练过程的暂停、继续、保存、恢复，保存和维护训练数据；能够定制训练场景，选择训练课目，生成初始训练想定，在训练过程中调整天时、气象、兵力等战场要素；能够对训练结果进行复盘回放和分析评估。

2.2 硬件体系结构

步兵分队实兵仿真训练系统的硬件主要由空间定位设备、单兵穿戴设备、轻量化地物组件和组训设备组成，硬件体系结构如图 2 所示。

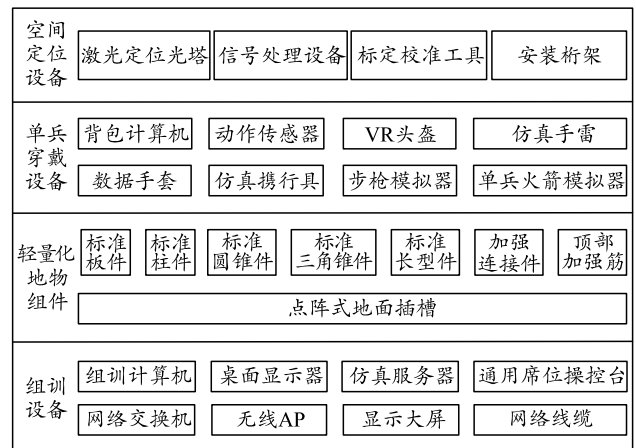


图 2 步兵分队实兵仿真训练系统硬件体系结构

2.3 软件体系结构

如图 3 所示，步兵分队实兵仿真训练系统的软件体系结构由应用层、业务层、支撑层、平台层、数据层和基础层组成。

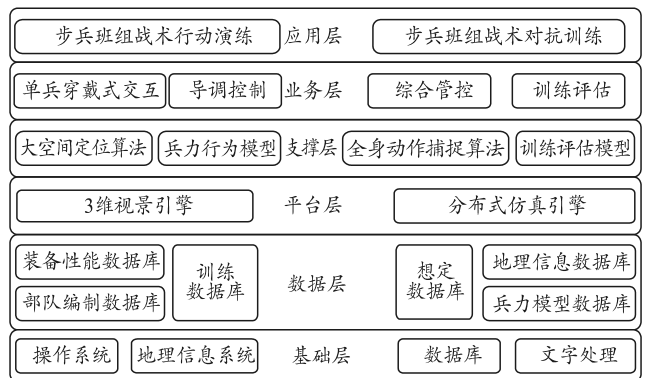


图 3 步兵分队实兵仿真训练系统软件体系结构

基础层主要包括软件开发运行平台，包括操作系统、地理信息系统、数据库和文字处理工具等。

数据层主要为软件运行提供各类数据的支撑和存储，包括装备性能数据、部队编制数据、训练数据、想定数据、地理信息数据和兵力模型数据。装备性能数据库用于存储装备的性能数据，包括武器装备的几何尺寸、防护性能、火力性能、机动性能等，含我军和外军兵力的典型武器装备作战性能数据，为计算机生成兵力、3 维实体的建模等提供基础数据。部队编制数据库存储对抗训练红蓝方的编制数据，如部队人员、姓名、角色、装备等，包含我军外军各分队的建制数据，为组训人员设置演习想定提供数据支撑。地理信息数据库存储多种格式的地理信息数据，包括矢量数据、高程数据、图层数据，是 2 维地理信息系统和 3 维地形场景的基础数据。兵力模型数据库存储步兵班组所涉及的所有兵力(武器、装备、器材、设施、人员、载具等)的 3 维模型和交互模型。想定数据库存储演习想定数据，包括想定名称、演习地域、演习时间、演习场地设置、兵力部署、兵力状态、演习初始态势等。训练数据库存储训练过程中各作战单位的实时位置、状态，以及对抗交互的战损、消耗信息等，为作战评估分系统提供数据支撑。

平台层采用了分布式仿真引擎以及 3 维视景引擎，为虚拟兵力仿真及虚实交互仿真提供基础仿真平台。其中，分布式仿真引擎可用于高分辨率的训练仿真、作战仿真、装备体系仿真等，引擎集成了分布式仿真、视景、音响、机动仿真、人工智能等方面的支撑软件，主要用于虚拟兵力生成和行为仿真、毁伤计算和训练管理分系统收集战场数据。3 维视景引擎应用主要用于 3 维实体建模、3 维地形建模、实兵映射对象的实时动作渲染、碰撞检测和虚实交互。

支撑层主要包含大空间定位算法、全身动作捕捉算法、兵力行为模型和训练评估模型，用以支撑业务层中的各项业务功能。大空间定位算法主要解决室内大空间的高精度定位定向，包括训练人员、仿真武器和地物组件，用于支撑 VR 实兵训练中的虚实空间位置映射。全身动作捕捉算法主要解决人体运动全身姿态的捕获及解算，可以实时输出全身主要骨骼的位置及空间旋转数据，驱动虚拟场景人物模型真实还原训练人员的肢体动作，用于支撑 VR 实兵训练中的实时动作渲染。兵力行为模型主要解

决红蓝双方虚拟兵力行为的自主化和智能化问题，用于支撑蓝军兵力操控中的虚拟兵力行为决策与执行。

业务层包含单兵穿戴式交互、综合管控、导调控制以及训练评估 4 大业务。单兵穿戴式交互提供穿戴式的单兵训练模式，通过自然人机交互方式和虚拟现实头显可以达到全沉浸的训练体验；综合管控是对系统、软件以及数据进行管理，并监测系统运行状态；导调控制能够管理演习过程、制作训练想定、构设训练场景、控制训练进程、下达训练任务和进行训练干预；训练评估采集训练数据，实时统计分析战损战果数据，显示 2 维 3 维行动态势，输出评估结果。

应用层包含步兵班组战术行动演练和步兵班组战术对抗训练 2 大训练模式。步兵班组战术行动演练，在步兵班组战术行动理论教学的基础上，由教员根据战术想定，基于实兵仿真训练系统构设城镇战斗、高寒山地战斗、岛上山地战斗、出境封控战斗等虚拟战斗任务背景，设置步兵班组承担的攻击战斗掩体、攻击建筑物、攻击碉堡、防守阵地、防守建筑物等具体战斗任务。步兵班组战术对抗训练，在战术演练的基础上，采用实实对抗、实虚对抗的方式，由教员基于战术想定，构设战斗场景，设置战斗任务，参训人员根据虚拟战场情况，开展战术对抗训练，系统提供导调干预、对抗裁决等功能。

2.4 系统接口设计

2.4.1 外部接口设计

步兵分队实兵仿真训练系统与其他系统间的信息交互主要包括核心平台和乘载平台模拟器 2 部分，如图 4 所示，能够按约定的标准规范接收核心平台传递来的态势数据，并向其上报告步兵班态势数据，完成 2 套系统态势数据之间的同步；能够接收乘载平台模拟器的操控数据并向其发送状态数据。接口设计具体如表 1 所示。

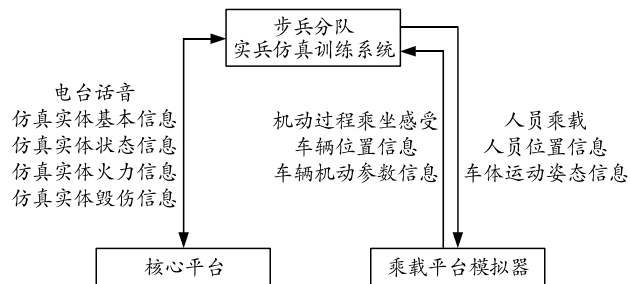


图 4 步兵分队实兵仿真训练系统与其他系统间信息交互

表 1 步兵分队实兵仿真训练系统与其他系统间接口设计

发送方	接收方	交互内容	接口类型
核心平台	步兵分队 实兵仿真 训练系统	电台语音	TCP/IP 协议
		仿真实体基本信息(实体 ID、实体类型、实体阵营、实体编组等)	数据库
		仿真实体状态信息(实体位置、实体状态、弹药余量、油料余量等)	数据库
		仿真实体火力信息(发出方、火力类型、火力线起点、火力线终点等)	数据库
		仿真实体毁伤信息(发出方、毁伤方、火力类型、毁伤程度等)	数据库
		电台语音	TCP/IP 协议
步兵分队 实兵仿真 训练系统	核心平台	仿真实体基本信息(实体 ID、实体类型、实体阵营、实体编组等)	数据库
		仿真实体状态信息(实体位置、实体状态、弹药余量、油料余量等)	数据库
		仿真实体火力信息(发出方、火力类型、火力线起点、火力线终点等)	数据库
		仿真实体毁伤信息(发出方、毁伤方、火力类型、毁伤程度等)	数据库
		电台语音	TCP/IP 协议
		电台语音	TCP/IP 协议
步兵分队 实兵仿真 训练系统	乘载平台 模拟器	人员乘载	人机交互
		人员位置信息	TCP/IP 协议
乘载平台 模拟器	步兵分队 实兵仿真 训练系统	车体运动姿态信息	TCP/IP 协议
		机动过程乘坐感受	人机交互
		车辆位置信息	TCP/IP 协议
		车辆机动参数信息	TCP/IP 协议

2.4.2 硬件接口设计

硬件设备接口采用通用标准接口，包括以太网数据通信、USB 接口、HDMI 接口和电源接口，单兵穿戴式交互设备的接插件选用航空接插件。各分系统均可通过千兆以太网进行内部数据通信；单兵穿戴式交互系统可通过转 USB 方式接收串行接口数据。实兵仿真训练系统内各设备的连接关系如 5 所示。

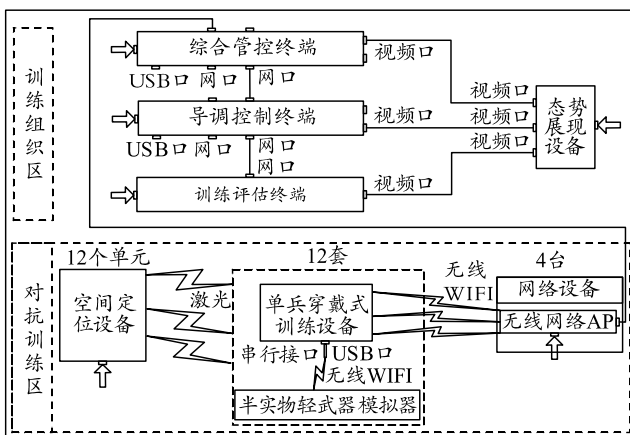


图 5 实兵仿真训练系统硬件连接关系

2.4.3 软件接口设计

实兵仿真训练系统软件配置项包括综合管控软件、导调控制软件、场景构设软件、态势显示软件、训练评估软件、穿戴式交互软件、虚拟仿真软件，软件接口关系主要描述软件配置项、软件支撑平台之间的想定、管理控制、操控、指挥、仿真、采集数据、训练评估等信息的交互关系，具体交互信息如图 6 所示。

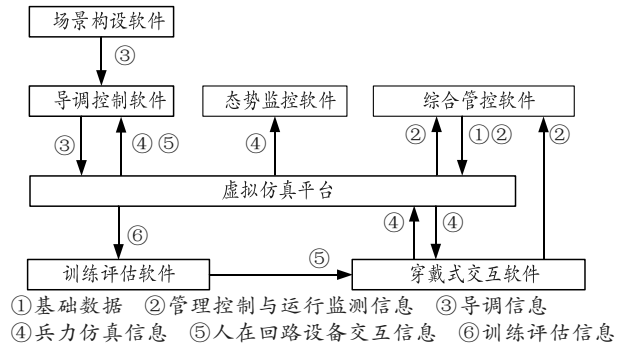


图 6 软件接口数据信息交互关系

2.5 应用模式设计

训练模式设计是实兵仿真训练系统使用场景的复现，按照位移方式和训练场景的差异，系统主要包括 2 种训练模式。

1) 小场景全空间训练。

如图 7 所示，充分利用室内定位空间面积，在空间内布设各类轻量化地物组件与虚拟场景一一映射，训练人员可在 300 m² 定位空间内自由移动，开展各类战术动作，所有训练人员的实际位置相对关系与虚拟场景中的位置相对关系保持一致，场景的切换主要通过乘载平台模拟器实现；同时，在乘坐模拟器过程中，保障人员迅速到场地完成下一个训练场景对应轻量化地物组件的布设。由此，通过全空间利用、小场景切换的方式来开展步兵协同作战训练。

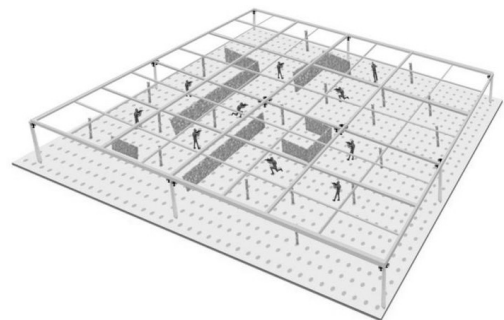


图 7 小场景全空间训练模式

2) 大场景独立空间训练。

如图 8 所示，将 300 m² 的定位空间平均划分为

12 个 5 m×5 m 的独立小定位空间，每个定位空间内能够容纳 1 名训练人员。训练人员在虚拟空间内各自存在独立的定位零点，定位空间内互相之间的位置关系与虚拟场景的位置相对关系不匹配。训练人员在小空间内通过穿戴式设备上的功能按键实现各自独立的位移，在原地开展各类战术动作，实现有限训练空间向无限虚拟空间的映射，能够开展野战开阔地域下的大场景作战仿真训练。

2.6 训练流程设计

实兵仿真训练系统的使用由训练准备阶段、训练实施阶段和训练评估阶段组成。系统应用流程如

图 9 所示。

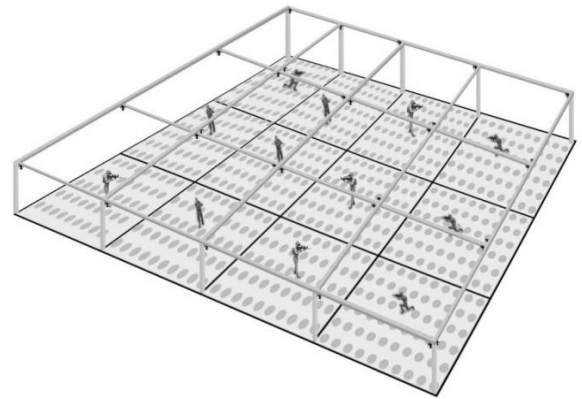


图 8 大场景独立空间训练模式

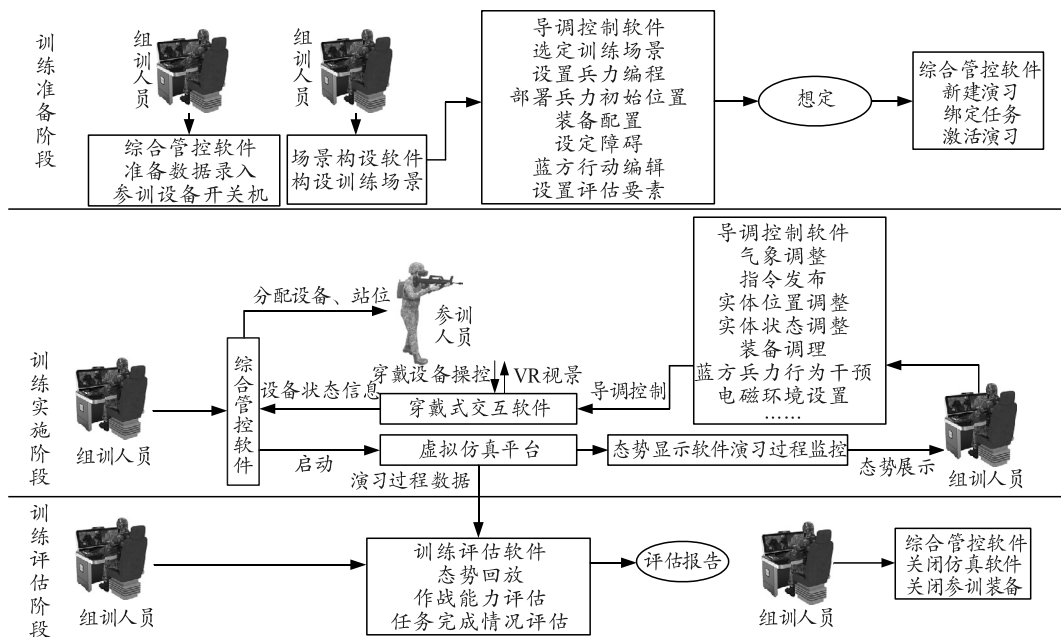


图 9 系统应用流程

训练准备阶段。组训人员在综合管控席运用【综合管控软件】的“设备管理”功能启动参训设备，完成受训人员基本数据的录入和管理，完成半实物仿真装备数据的录入，检查训练装备的运行状态。在导调控制席使用【场景构造软件】构设训练场景，使用【导调控制软件】制作演习想定，制作想定包括设置训练兵力编成、部署兵力初始位置、装备配置、蓝方行为编辑、评估要素设置等内容，使用【综合管控软件】新建演习。

训练实施阶段。训练实施过程，受训队员完成设备穿戴，佩戴所分配的轻武器模拟器。组训人员使用【综合管控软件】完成设备分配并启动仿真运行，待视景启动完成后，受训人员进行姿态校准。校准之后便可以训练。

受训人员通过 VR 头盔感知战场态势和视觉效

果，通过立体声耳麦感知战场声音；通过操作功能按键或自由移动的方式实现在虚拟战场环境中的位置变化；通过与实战相同的方式完成下蹲、卧倒、匍匐、跳、踢、抛、投、击打、打手势等战术动作，并完成与虚拟战场环境、兵力实体的交互；通过语音、打手势等方式与其他队友进行实时指挥协调；通过与操控实装一样的方式操控半实物仿真装备进行解脱保险、拉枪机、瞄准、击发、装弹、换弹匣等战术动作；通过手部动作或轻武器模拟器上的扩展功能键操控虚拟战场环境中的虚拟仿真装备，完成搭乘、击发等操作。

战斗实施过程中，受训人员随时可通过语音方式实时协同。组训人员实时监控训练设备的工作状态(包括网络连接情况、供电情况、定位件连接情况等)，并可根据组训人员的指令进行系统暂停、继续

等功能；组训人员在导调控制席使用【导调控制软件】向参训人员下达语音指令，调理红方作战行动；组训人员也可直接对战场实体进行干预，通过制造外围影响、突发情况设置，推进对抗进程，如调理气象、改变实体位置和状态、调理装备、干预蓝方行为兵力、调理工事、设置电磁环境等，也可以对参训成员的违规行为进行裁决；在战斗实施过程中，实时获取演习数据，为态势监控和效能评估提供数据支撑，组训人员在导调控制席以 2 维、3 维结合的方式监控战场态势、战果、战损、消耗情况。

训练评估阶段。训练结束后，组训人员通过【综合管控软件】结束仿真。组训人员在导调控制席进行态势回放；组训人员在分析评估席使用【训练评估软件】进行作战能力评估和任务完成情况评估，形成评估报告。最后，组训人员在综合管控席使用【综合管控软件】关闭组训设备、参训设备。

3 关键技术

3.1 室内大空间高精度定位技术

大空间定位^[8-9]主要用于人体姿态和仿真武器的定位定向，由于轻量化地物组件的布设，原本空旷的训练场地存在很多遮挡，为解决在层层遮挡下还原训练人员的姿态动作技术难点，基于激光定位技术搭建了室内大空间高精度定位系统。

首先，系统采用高精度激光定位技术，实现定位空间全覆盖。基于大广角的激光光塔和全向激光接收器，通过单元级联方式实现有效定位空间全覆盖，能够达到 1 mm 的位置精度和 0.1° 的角度精度，定位空间内可支持同时定位终端数量不小于 100 个，并针对手榴弹等投掷类道具进行了定制化的定位终端设计，能够实现高速运动终端的实时精确位置输出。

其次，运用多种 IK 解算途径，实现训练人员全身姿态解算。训练人员的全身姿态是大空间定位系统中主要的解算任务，也是对遮挡最为敏感的追踪对象。基于此，系统采用了 15 点动捕技术，能够实时采集训练人员全身 15 个主要关节的位姿数据，设计了 3、5、7、8、11 点等多种姿态解算算法，能够根据被遮挡后剩余可探测到的定位节点组合自动选取合适的解算算法，求解参训对象的全身肢体动作，传入虚拟仿真软件完成实时渲染，保证实际动作与虚拟仿真软件中渲染的动作一致，延时不超过 100 ms，保证训练人员在局部被遮挡的情况下不会出现姿态的扭曲和变形。

最后，采用光惯融合式定位件设计方案，解决定位件被遮挡情况下的姿态求解。由于轻量化地物组件的布设，训练人员在移动过程仍然有可能造成定位件被不断遮挡的情况，也存在剩余定位件位姿信息无法有效完成姿态求解的情况。为此，系统采用了光惯融合式定位件设计方案，在定位件中内置了 9 轴惯性传感器，组成动捕系统的定位件可通过 2 种方式来计算自身的定位数据和姿态。通过定位件上的激光全向追踪点接受激光信号，通过激光接收空间定位算法，可以推算出加速度和角速度信息；通过定位件上的 9 轴传感器可以采集到定位件的加速度和角速度信息。当定位件部分遮挡或者无遮挡时，这 2 种方式的加速度和角速度信息通过卡尔曼滤波算法进行滤波和数据融合，即可以计算出精准的位置、姿态数据，再采用 IK 算法从而得到动捕数据；而当定位件完全被遮挡时，定位件通过定位件上自带 9 轴传感器可以采集到定位件的加速度和角速度信息，通过惯性算法可以得到惯性的位置和姿态数据，再采用 IK 算法从而得到动捕数据。

3.2 单兵穿戴交互技术

单兵穿戴交互^[10]分系统是连接训练人员与训练系统之间的纽带，能够通过穿戴式交互设备实时采集训练人员的各项操作（包括手势、武器装备操控、语音通话等），传入虚拟仿真分系统进行仿真计算，在虚拟空间内产生正确的响应，同时也为训练人员提供了全沉浸式的第一人称训练视景。

单兵穿戴式交互分系统硬件主要包括背包计算机、VR 头盔、数据手套、动作传感器、仿真携行具、步枪模拟器、单兵火箭模拟器和仿真手雷等，软件为穿戴式交互软件。

采用集成化设计思路，通过仿真携行具将全套单兵装备进行集成，穿戴方便，可支持单人自主穿戴，穿戴至正常工作状态所需时间不超过 5 min。背包计算机作为单兵穿戴式设备的移动式供电站和计算中心，同时为虚拟现实头盔、动作传感器进行供电，集中处理各项交互信息，最短连续工作时间超过 2 h。其中虚拟现实头盔选用高性能 VR 头盔，能够实现左右眼立体图像输出，图像输出不闪烁，单目分辨率不低于 1 080×1 200，视场角不小于 110°，刷新频率最高可达 90 Hz；动作传感器采用高精度的激光感应式动作传感器，计算延迟不超过 2 ms，可在常用的室内环境条件下正常工作，一次校准后可持续正常使用时间不低于 2 h，并且采用加

固设计, 抗振抗跌落性能良好, 能够支持训练人员执行奔跑、掩护、下蹲、匍匐、卧倒、翻滚、跳跃等常用步兵战术动作; 步枪模拟器严格按照 95-1 式自动步枪进行设计, 在重量、尺寸以及操作习惯上与实装基本一致, 重量和尺寸的误差不大于 10%, 武器操作信号的响应延迟不超过 20 ms; 单兵火箭模拟器参照 80 mm 单兵火箭进行设计, 发射机可支持外接不同口径火箭筒, 实现对不同类型单兵火箭的模拟; 数据手套能够支持训练人员执行停止、前进、数字等常用手语动作。

3.3 虚拟仿真技术

虚拟仿真分系统是整个系统的图像渲染和仿真计算中心, 它是以虚拟仿真软件为支撑的二次开发应用, 处理与所有其他分系统的交互接口, 为整个训练场所部署的各个功能系统提供基础的运行支撑; 同时, 负责整个训练过程中仿真计算底层支撑服务、仿真进程管控底层支撑服务、仿真数据的实时记录底层支撑服务等, 构建的仿真模型主要包括虚拟战场环境、虚拟兵力装备和虚拟兵力行为等。

3.4 轻量化地物组件虚实对应技术

轻量化地物组件虚实对应技术, 用于构造可实时更换的现实地形场景, 使参与者获得真实的身体触感, 提高战场环境仿真的逼真度。通过点阵式地面、各型轻量化地物构件及连接加强件的设计, 模拟真实训练场景的地形地物。同时, 通过对虚拟场景战场环境映射空间内的地物检测和计算, 能够与虚拟场景模型的位置精确映射, 生成真实训练空间内轻量化地物组件的布设方案, 完成实际地物环境的快速构建。轻量化地物组件硬件组成如图 10 所示。

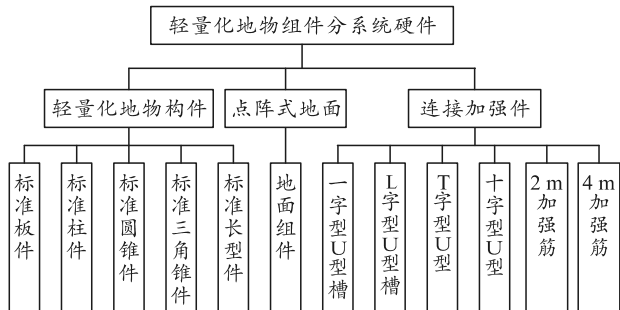


图 10 轻量化地物组件分系统硬件组成

对点阵式地面插槽的制作工艺进行严格把关,

确保所有插槽位置对齐、大小一致, 每个插槽进行坐标标记和分配, 由插槽坐标来迅速映射具体空间位置。虚实对应场景快速构建软件, 在虚实地物的匹配算法上进行了双向设计, 支持根据实际空间中布设好的地物组件迅速生成虚拟场景, 也支持根据虚拟战场环境生成实际空间地物布设方案, 便于训练人员视情决定具体设置。

4 结论

采用室内大空间高精度定位技术、单兵穿戴交互技术、虚拟仿真技术、轻量化地物组件虚实对应技术等手段, 构建一个虚实对应的步兵分队实兵仿真系统, 支持常用步兵分队战术课题的教学与训练, 使训练场景更贴近实战, 突破了传统教学手段, 创新了步兵分队战术训练模式。该系统作为实兵现地训练的重要辅助手段, 可满足步兵分队战术教学训练需求, 解决场地单一、敌情简单、训练粗放的痼疾, 提升步兵分队实兵训练效益, 推动步兵分队战术教学训练实战化向更深层次发展

参考文献:

- [1] 李大为, 吕战强. DK07 实兵对抗训练系统[M]. 北京: 军事科学出版社, 2013: 1-100.
- [2] 邓克波, 左毅, 张武, 等. 虚实结合军事训练系统需求分析[J]. 指挥信息系统与技术, 2018, 9(5): 9-16.
- [3] 张昱, 张明智, 胡晓峰. 面向 LVC 训练的多系统互联技术综述[J]. 系统仿真学报, 2013, 25(11): 2515-2520.
- [4] 王君, 王黎. 模拟对抗训练系统及虚实兵力结合技术[J]. 指挥信息系统与技术, 2014, 5(3): 21-27.
- [5] 徐宝宇, 张宏军. 基于虚实一体的实兵对抗训练系统设计研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2015, 29(3): 52-56.
- [6] 徐宝宇, 张宏军, 郭红, 等. 面向实兵对抗的炮兵火力仿真模型设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(3): 508-515.
- [7] 赵东华, 李惠明, 李超, 等. 某型制导炮弹跟踪模拟训练系统设计[J]. 火力与指挥控制, 2016(6): 133-136.
- [8] 徐进军, 罗喻真, 王海城, 等. 大跨度桁架节点空间位置的测定技术[J]. 测绘通报, 2014(9): 47-50, 62.
- [9] 刘青, 张杰, 刘志刚, 等. 旋转激光大空间定位系统的参数标定技术研究[J]. 激光杂志, 2020, 6(22): 22-25.
- [10] 王爽英, 康隽睿, 周玉清. 基于单兵智能武器系统的可穿戴装备发展趋势与设计构想[J]. 兵器装备工程学报, 2017, 38(12): 120-123.