

复杂电磁环境数字仿真系统研究

王东

(中国西南电子技术研究所, 成都 610036)

摘要: **目的** 为夺取未来战场的制电磁权, 缩小同国外先进水平的差距, 需要构建一套标准化具可行性的复杂电磁环境数字仿真系统。**方法** 从控制显示、武器模型、战场监测以及效能评估等角度出发, 提出复杂电磁环境数字仿真系统的基本结构。论述控制系统、武器系统、监测系统、评估系统以及显示系统等各分系统的具体设计方法。**结果** 综合考虑系统的重构性、扩展性、复用性以及操控性, 搭建复杂电磁环境数字仿真系统的技术实现架构。**结论** 为复杂电磁环境数字仿真系统的标准化与可行性的发展提供思路。

关键词: 复杂电磁环境; 仿真技术; 系统架构; 环境监测; 系统评估

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2018.01.020

中图分类号: TJ01; TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2018)01-0100-05

Digital Simulation System of Complex Electromagnetic Environment

WANG Dong

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

ABSTRACT: Objective To seize the electromagnetic dominance on the battlefield, and narrow the gap with foreign advanced level, it is necessary to build a standard and feasible digital simulation system for complex electromagnetic environment. **Methods** Based on control and display, weapon model, battlefield surveillance, performance evaluation, etc, the basic structure of complex electromagnetic environment digital simulation system was proposed. The specific design methods of control system, weapon system, monitoring system, evaluating system and display system were discussed. **Results** The technical implementation architecture of the complex electromagnetic environment digital simulation system was set up based on considering configurability, extensibility, reusability and controllability. **Conclusion** It provides thought for standard and feasible development of the complex electromagnetic environment digital simulation system.

KEY WORDS: complex electromagnetic environment; simulation technology; system architecture; environment monitoring; system evaluation

当前战场对抗由海、陆、空、天、电等五个维度展开, 而夺取空间电磁频谱的控制权, 将决定战争的最终走向^[1]。海湾战争、阿富汗战争以及科索沃战争, 是制电磁权的典型应用, 并且在此后的伊拉克战争中, 美军可以精确地对对方目标实施压制和摧毁。空间电磁控制权的取得, 不仅依赖于装备性能的优越, 而且取决于对战场电磁态势的准确判断以及对战力的合理部署^[2]。复杂电磁环境数字仿真能实时实地地

对模拟战场环境下的电磁频谱进行分析, 指导兵力战力的部署以及武器装备的优化, 对夺取未来战场的制电磁权具有重要意义。

以美国为首的西方国家针对复杂电磁环境数字仿真系统的建模、仿真和评估, 已经相当成熟。例如, 以色列 ELISRA 公司的 NS-90002E 系统美国 ASDI 公司的 AMESII 系统以及美国的星船系统等^[3]。国内经过多年发展, 也取得了一系列成果。例如, 国防科

学技术大学的静态背景信号模拟器，山东大学的战场复杂电磁环境模拟系统，洛阳电子装备试验中心也初步具备了模拟多波段、多类型和多样式电磁信号环境的能力^[4]。

由于国内对复杂电磁环境的仿真研究起步较晚，在武器装备仿真、电磁特征数据库、频谱管理以及测试评估等方面，与国外先进水平存在巨大差距。因此，有必要构建一套标准化并具可行性的复杂电磁环境数字仿真系统，以满足复杂电磁环境下武器装备的适应性实验和作战能力评估，逐步缩小同国外先进水平的差距。

1 系统结构

复杂电磁环境数字仿真是利用计算机技术模拟现代战争中的战场背景、武器性能、兵力部署以及战斗推演等^[5]，相比于实装构建、半实物仿真，数字仿真的成本低、试验周期短、试验过程可控，并且不受时间、空间的制约。同时，随着计算机技术的快速发展，仿真的虚拟场景越来越接近真实的战场环境。

为模拟接近真实的数字复杂电磁环境，在结合现有体系的基础上^[6-8]，从控制显示、武器模型、战场监测以及效能评估等多个角度出发，提出复杂电磁环境数字仿真系统的基本结构，如图 1 所示。

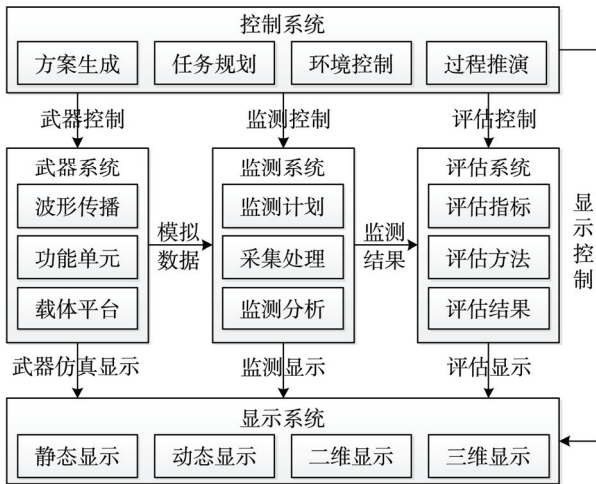


图 1 复杂电磁环境数字仿真系统结构

2 系统设计

复杂电磁环境数字仿真系统分为控制系统、武器系统、监测系统、评估系统以及显示系统等五个方面，涵盖了从前端辐射源信号产生到后端数据处理及分析评估的整个仿真流程。

2.1 武器系统

武器系统从波形传播、功能单元以及载体平台等三个层级进行数学建模，并提供了模型层级间的多种

选择：针对不同的应用需求，同一载体平台可负载不同的功能单元；针对不同的仿真场景，同一功能单元可选择不同的信号传播模型，如图 2 所示。

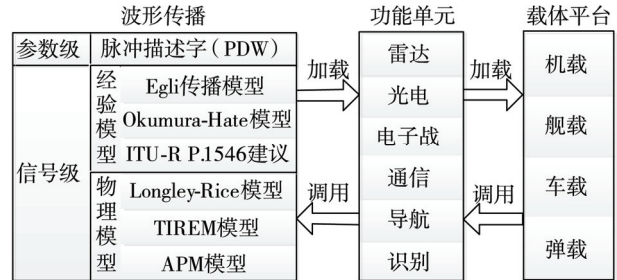


图 2 武器系统

波形传播模型^[9-11]分为参数级仿真模型和信号级仿真模型，参数级仿真一般采用脉冲描述字 (Pulse Description Words, PDW) 的方法，对辐射源的各个参数进行简单建模，以此反映出波形在传播过程中的直观变化；信号级仿真能逼真复现信号发射、传播、接收以及处理的全过程，一般分为经验模型和物理模型，每种模型的适用范围和仿真精度各不相同。

功能单元是收发电磁波的辐射源，是完成搜索、跟踪、干扰以及通信等不同功能的电子器件，按功能分为雷达、光电、电子战、通信、导航以及识别等，每种功能单元有不同的硬件架构和软件处理模式。例如，雷达按工作体制主要分为连续波雷达、单脉冲雷达、脉冲压缩雷达、脉冲多普勒雷达、相控阵雷达、数字相控阵雷达以及合成孔径雷达等，不同工作体制的雷达，其原理、用途、结构、性能参数以及信号处理方式等均不相同。

载体平台可安置不同的功能单元，按海、陆、空分为机载、舰载、车载以及弹载。每类载体平台按用途可分为多个种类，如机载平台包括空中优势飞机、地面攻击飞机、战略轰炸机、海上巡逻飞机、战场监视飞机以及空中预警飞机等；舰载平台包括战列舰、巡洋舰、驱逐舰、护卫舰以及潜舰等；车载平台包括装甲车、坦克等；弹载平台包括空面导弹、空空导弹、地空导弹以及潜地导弹等。每种载体平台的功能用途以及性能参数各不相同，可参照现有的模型进行仿真，主要考虑平台姿态、作战半径、运动速度以及武器悬挂等因素。

武器系统采用分层设计和模块设计的思路，为复杂电磁环境数字仿真构建武器战力体系，通过调用和加载各个作战单元，以满足不同的仿真场景。

2.2 控制系统

控制系统^[12-13]是根据不同的任务需求和目的，按照给定的规则，通过对设备和参数的控制，完成对仿真过程的调整和推演。主要功能包括方案生成、任务规划、环境控制和过程推演，如图 3 所示。

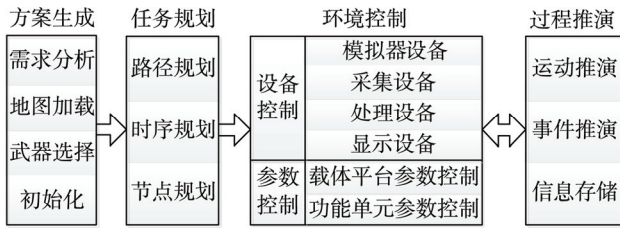


图3 控制系统

1) 方案生成是在需求分析的基础上, 分别从地图数据库和武器数据库中调用任务所需的地图和武器, 并初始化场景视景、传感器模型以及工作状态参数等。

2) 任务规划主要包括路径规划、时序规划以及节点规划。路径规划是描述各个载体平台在空间范围内的运行轨迹; 时序规划是描述功能单元在时间序列中的工作顺序, 如开机关机的时间点、工作时长等; 节点规划是描述完成阶段性任务节点时所要求的状态。

3) 环境控制主要是针对设备和参数的控制。设备包括模拟器设备、采集设备、处理设备以及显示设备, 如频谱选择、采样率、显示方式等。参数分为载体平台参数和功能单元参数两类, 如运动速度、姿态角、信号类型、工作带宽、天线扫描方向等。

4) 过程推演通过记录与回放存储信息, 来完成运动推演和事件推演, 并以此动态调整环境控制参数。信息存储分为基础数据和动态数据两类, 其中基础数据是指仿真系统配置的固定不变的数据, 动态数据是指仿真过程中产生的可变的数据。过程推演和环境控制通过人机交互进行调整。

控制系统是复杂电磁环境数字仿真系统的控制中心, 用于发出控制指令, 实现对整个仿真系统的控制。为反映真实的战场动态环境, 控制系统应具备高性能的实时计算能力和高精度的时间同步技术。

2.3 监测系统

监测系统^[14-15]是将特定频域、时域和空域的各类电磁辐射信号进行采集和处理, 并分析处理后的数据, 以此作为系统评估的依据。监测系统主要包括监测计划、采集处理以及监测分析, 如图4所示。

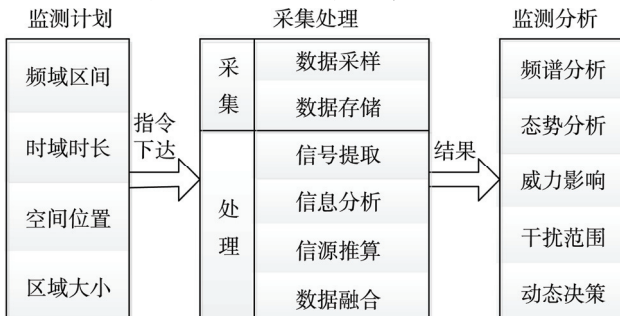


图4 监测系统

1) 监测计划是对复杂电磁环境的特定频域区间、时域时长、空间位置以及区域大小等进行相应设置, 并将计划指令下达至数据采集和处理模块。

2) 采集处理是将监测数据进行采样与存储, 并进行信号提取、信息分析、信源推算以及数据融合等处理。信号提取是将真实信号从噪声、杂波和干扰中提取出来, 包括滤波处理、杂波处理以及抗干扰处理等; 信息分析是从信号中得到目标距离、速度、方位等有用的信息, 包括匹配滤波、多普勒处理以及成像算法等; 信源推算是通过目标信息推算出信号真实的辐射源; 数据融合则是对真实信源的信息进行采集、传输、综合、过滤、合成等。

3) 监测分析是基于监测结果对频谱、态势、威力影响、干扰范围以及动态决策等内容进行分析, 分析结果作为系统评估的依据。

监测系统可根据不同的任务需求, 实现对复杂电磁环境数字仿真系统的数据采集、分析、统计、融合、记录等功能, 并向外部系统提供有效的监测数据, 实时性和数据处理性能要求较高。

2.4 评估系统

评估系统^[16-17]是依据仿真任务的需求和空域、时域、频域以及能量域的特征, 选择适当的评估指标和评估方法, 对复杂电磁环境下的武器装备进行适应性评估和作战能力评估。评估系统主要包括评估指标、评估方法以及评估结果, 如图5所示。

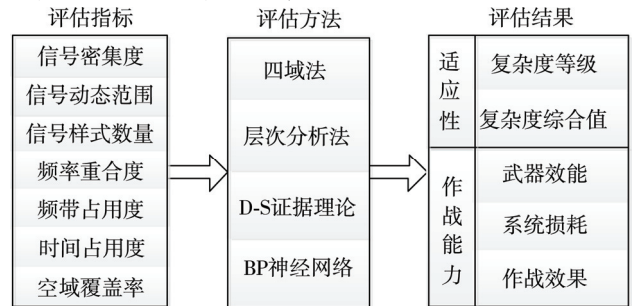


图5 评估系统

1) 评估指标应结合仿真平台的实际能力, 选择能反映武器装备客观情况的参数。信号密集度能反映监测设备在单位时间内可能接收到的信号数量; 信号动态范围能反映信号功率密度的变化范围; 信号样式数量能反映同一信号样式的辐射源个数; 频率重合度能反映辐射源的频域拥挤程度; 频带占用度能反映可供使用的备用频率资源情况; 时间占用度能反映电子设备的正常工作时间; 空域覆盖率能反映电磁信号环境与电子设备在空域上的冲突。

2) 评估方法主要包括四域法、层次分析法、D-S证据理论以及BP神经网络方法等。四域法的评估指标没有引入权值, 直接将复杂电磁环境按4个评估指

标和 10 个定性的复杂度等级分为 10^4 类进行评估；层次分析法通过咨询专家意见建立标度准则，并构造模糊互补判断矩阵求解权重，是一种定性和定量相结合的决策方法；D-S 证据理论综合多个传感器的基本信息分配，通过专家设定模糊控制规则，以此得到一个新的信息分配；BP 神经网络方法具有联想与记忆能力，通过学习与训练得到指标权值，能够反映多元素之间的高度非线性关系。

3) 评估结果分为适应性评估结果和作战能力评估结果。其中，复杂度等级和复杂度综合值分别对电磁环境复杂程度作定性和定量评估，反映了武器装备对环境的适应能力；武器效能、系统损耗以及作战效果反映了武器装备在复杂电磁环境下的作战能力。

评估系统是对复杂电磁环境下的武器装备是否符合应用需求而进行的整体评价与估计，指标选择应基于实际情况且范围全面，评估结果对武器装备的选择和设计具有指导意义。

2.5 显示系统

显示系统是对复杂电磁环境数字仿真系统的可视化，依据需求显示场景视景、仿真模型、电磁频谱以及电磁态势等。显示系统包括静态显示、动态显示、二维数据显示以及三维数据显示，本节主要分析等值面提取绘制和直接体绘制两种常用的三维数据场绘制方法^[18]。

等值面提取绘制方法是利用三维数据场相同特征值的位置点，构建多边形网格，从而表现数据场的等值特征信息。常用的等值面构建方法有 Marching Cubes (MC) 方法和 Marching Tetrahedra (MT) 方法等。等值面提取绘制方法不能反映原始数据场的全貌和细节，但是绘制等值面网格有图形硬件支持，且能反映原始数据场的表面轮廓信息。

直接体绘制方法根据数据映射关系，将三维数据场映射成二维图像。直接体绘制方法需要在功能性、交互性和高质量之间进行权衡，常用的方法有：以图像为序、以物体为序和基于硬件加速等。直接体绘制方法能反映三维数据场的整体信息，绘制图像质量高，但是计算量大，绘制效率低。

3 系统实现

在模型构建、理论应用和技术研究的基础上，综合考虑系统的重构性、扩展性、复用性以及操控性，搭建复杂电磁环境数字仿真系统的技术实现架构，如图 6 所示。

仿真系统技术实现的流程为：从地图数据库和武器数据库中调用能满足仿真需求的地图和武器；通过对信号模型、功能单元和载体平台的参数控制，实现

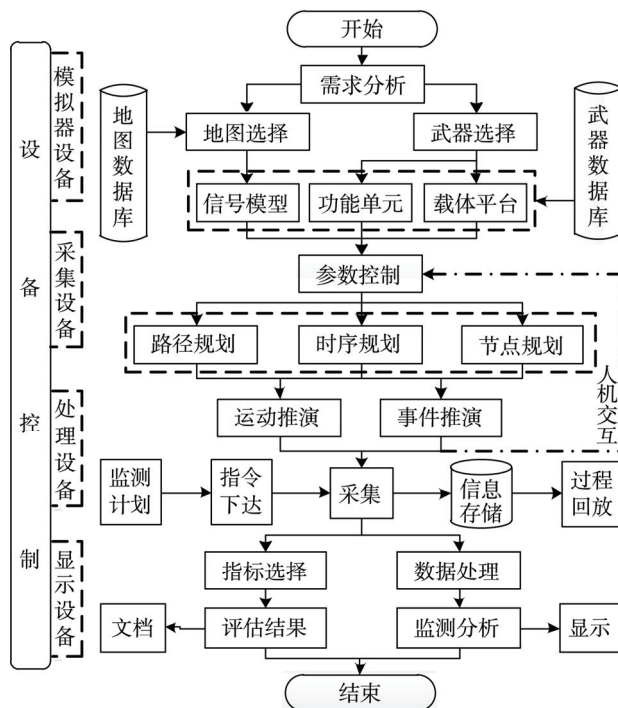


图 6 系统技术实现架构

任务规划；由路径、时序和节点的规划，完成仿真过程的运动推演和事件推演，并且通过人机交互反馈参数控制；根据监测计划的指令，完成数据采集并存储；对采集到的数据作指标选择和数据处理，完成系统评估和检测分析；仿真过程中，由设备控制完成对硬件设备的控制。

4 结语

文中综合当前相关技术背景下的诸多研究成果，提出复杂电磁环境数字仿真系统的基本结构，论述了武器系统、控制系统、检测系统、评估系统以及显示系统等各分系统的设计方法，搭建复杂电磁环境数字仿真系统的技术实现架构，为复杂电磁环境数字仿真系统的标准化与可行性的发展提供思路。

参考文献：

- [1] 王国民, 周莉莉, 白彬. 复杂电磁环境下基地训练电磁频谱管控研究[J]. 现代电子技术, 2013(9): 31-33.
- [2] 陈鹏. 虚拟战场环境中雷达作用范围表现技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2007.
- [3] 徐伟. 复杂电磁环境系统控制研究与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
- [4] 汪连栋, 董俊, 曾勇虎, 等. 复杂电磁环境模拟技术体系研究[J]. 现代防御技术, 2015, 43(4): 196-203.
- [5] 杨林茂, 王加阳. 战术无线电通信系统所面临的复杂电磁环境建模与仿真[J]. 信息通信, 2012(1): 1-3.

- [6] 黄兴东, 申功勋. 复杂电磁环境仿真试验体系的模型验证方法研究[J]. 系统仿真学报, 2012, 24(12): 2562-2566.
- [7] 谢东来, 孙洪星, 张万泽, 等. 兵力生成仿真系统中的电磁环境仿真[J]. 系统仿真学报, 2013(s1): 178-181.
- [8] 曾亮, 戴静波, 张巍. 联合作战想定中的复杂电磁环境建模技术研究[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(8): 1809-1812.
- [9] 徐霞. 无线信道在网络仿真平台中的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
- [10] 徐文杰, 周新力, 吴龙刚. Longley-Rice 等效散射模型的建立[J]. 电磁场与微波, 2011, 41(4): 42-44.
- [11] 张敬卓, 袁修久, 赵学军, 等. 复杂环境下雷达三维探测范围[J]. 计算机应用, 2011, 31(10): 2738-2741.
- [12] 高辅刚, 赵晔, 胡晓峰, 等. 复杂电磁环境下作战仿真系统指挥控制体系建模[J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(7): 112-113.
- [13] 汪连栋, 郝晓军, 韩慧. 复杂电磁环境效应分析及环境控制实现[J]. 电子信息对抗技术, 2014, 29(6): 7-11.
- [14] 徐伟. 电磁环境监测系统分析与设计[J]. 无线电工程, 2009, 39(8): 34-37.
- [15] 路延, 贾翠霞, 和慧芬. 复杂电磁环境监测系统设计[J]. 安全与电磁兼容, 2016(3): 83-85.
- [16] 金朝, 丁竑, 李冬, 等. 战场电磁环境复杂度评估及其应用[J]. 火力与指挥控制, 2011, 36(12): 194-197.
- [17] 李文臣, 张政超, 陆静, 等. 电磁环境复杂度等级评估模型[J]. 中国电子科学研究院学报, 2012, 7(4): 427-431.
- [18] 杨超. 虚拟战场中电磁环境三维建模与绘制方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2010.