

电子战仿真数字系统模型及设计方法*

曾洪祥 吴京 谢晓霞 周宇

(国防科技大学电子工程学院 长沙 410073)

摘要 阐述了在EW系统建模、仿真和评估中采用电子战数字系统模型(EWDSM)的意义。结合电子战系统仿真评估的特点,讨论了EWDSM在设计时采用的方法,如面向对象的分析方法的类层次和类结构,以及基于HLA/RTI的分布仿真协议的分布式计算环境的仿真系统设计。

关键词 电子战, 建模和仿真, 面向对象 HLA/RTI

分类号 TN97

Discussion of Design Methods and Digital System Model in EW Simulation

Zeng Hongxiang Wu Jing Xie Xiaoxia Zhou Yiyu

(Institute of Electronic Engineering, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract Digital system models (DSM) are important in M&S and evaluation for EW system. This paper describes the designation method for DSM such as object-oriented analysis and based on HLA/RTI of distributed simulation.

Key words Electronic warfare, Simulation, Object-oriented approach, HLA/RTI

电子战(EW)系统的建模和仿真是EW系统效能评估中的一个重要手段^{[6]-[10]}。但随着EW体系对抗的发展和系统构成的日趋复杂,仿真成本也在不断增加。目前各类EW仿真模型间缺乏互联互通操作性,不利于技术积累,在大规模系统仿真的体系结构方面也显现出不足和局限。例如评估某一电子战系统所用的模型中,通常所需建立的威胁和环境用模型远多于评估对象本身用模型。假设在某个应用中,需要对机载雷达模拟后进行评估,就必须在建立相应的机载雷达模型的同时,建立载机的运动模型、威胁目标的模型、自然环境模型、雷达对抗环境模型等等。而在其它应用中,例如机载干扰机的模拟中,前面所建立的评估用的环境模型都是相似的,但目前的仿真体系结构很难重用这些模型。为此,提出电子战系统数字系统模型DSM(Digital System Model)的设计规范和协议,以解决上述问题,就显得十分必要。例如美国空军提出的用于EW的T&E过程的联合建模—模拟系统(J-MASS)^[1],就是这样一种灵活建模和仿真的通用框架技术,广泛应用于通过数字计算机来设计和试验电子战系统。

本文通过总结EW仿真的层次、类型和特点,初步阐述了EWDSM的意义、定义和内涵,探讨了面向对象分析和HLA/RTI的技术方法在EWDSM的设计和实现中的应用,期望抛砖引玉,以对EWDSM得到更好的研究和开发。

1 EWDSM概述

随着计算机硬件性能和超大规模集成电路(VLSI)水平的快速提高和各种先进的计算机仿真技术、软件技术的出现,原来必须采用专用仿真计算机或者大型主机实现的EW领域的仿真系统,将可能变得廉价和灵活以及为功能强大和丰富的软件支持的通用数字计算机及通用高速数字电路组成的系统所拓展和代替。建立和开发EWDSM,就是这样一种背景下进行EW仿真和评估的重要趋势。根据文[1],EWDSM可初步定义为:EWDSM是为辅助EW系统设计,进行EW系统和设备预测分析,评估其内外场测试结果所开发的一种应用软件系统工具。EWDSM是EW系统研制过程中的数字表示(Digital representation),随着EW系统本身生命周期的更替而不断维护和改进。上面的定义,是从EWDSM的

* 1999年4月12日收稿

第一作者:曾洪祥,男,1972年生,博士生

作用和表现形式来定义的。另外,从 EWDSM 的内容来看,电子战包括雷达对抗、通信对抗、光电对抗、体系对抗等各个领域,内容非常复杂和广泛。EW 仿真的层次和类型也很复杂。所以,EWDSM 又是一个相对独立的模型体系,有其自身的建模和仿真特点、层次和规范。

EW 模拟的层次大致可分为工程级模拟、系统级模拟和任务级模拟;EW 仿真所研究的对象大致可分为信号型、数据型和事件型三种类型。以雷达传感器模型为例,对特定型号雷达系统设计和试验时,其信息波形及其在空间电磁环境中的传播、散射等特性,需在信号层次上建模;雷达的数据处理过程如航迹相关、航迹融合等是在数据算法上的建模;而在一个防空与空袭的体系对抗过程中,雷达的搜索过程和检测过程又是在事件层次上的建模。模拟的目的和层次上的不同,将对模型提出不同的要求和细节模拟程度。上述数学模型在计算机上实现为线性和非线性微分方程、代数表达式、逻辑关系及动态随机变量等算法组合在一起的模型算法库。由于模型的异构和接口层次上的不同,具有仿真集成上的困难。因此需要对 EW 仿真的各个层次和类型进行标准规范化,才可能进行大规模系统的建模和模拟。所以,EWDSM 还应包括大规模 EW 系统仿真中所必需的设计标准和规范,满足 EW 仿真时描述微观层的信号处理、数据处理和宏观层的离散事件推演的需要。这样,EWDSM 既可以为大规模电子战系统的计算机数字建模仿真和评估提供软件平台,又可应用于电子战系统的半实物仿真系统的前端软件系统,例如电子战微波暗室仿真系统与电子战中频注入式仿真系统等。

正因为 EWDSM 的以上特点和复杂性,EWDSM 设计和实现必须采用目前正在发展和成熟的各种先进的计算机软硬件技术、VLSI 技术和先进的系统仿真技术,例如以下所述的面向对象的系统分析和设计方法,分布交互仿真中的高层体系结构(HLA)和运行支持系统(RTI)技术。

2 面向对象的 EWDSM 的设计方法

EWDSM 最终表现为一个大型的应用软件系统。面向对象分析(OOA)和面向对象编程(OOP)是这样的软件系统常用的设计和开发的理论和方法。采用 OOA 和 OOP 建立的电子战系统数字模型体系的模型对象、类以及相应类层次结构和类组合结构,使电子战仿真系统具有模拟真实电子战系统的电磁信号辐射、接收和处理的复杂过程和结构层次的能力,并且软件系统具有模块化、可重用、可维护性和可移植性好等优点。

2.1 电子战 DSM 的类层次和结构

EW 包括电子攻击(EA)、电子防护(EP)、电子战支援(ES)三个组成部分。EWDSM 类体系结构如图 1 所示。以雷达电子战为例,建立了四种雷达电子对抗的派生类:

- (1) 电子侦察类;
- (2) 电子有源干扰类;
- (3) 电子无源干扰类;

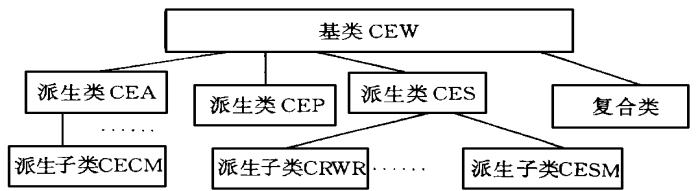


图 1 电子战 DSM 的类体系结构
Fig. 1 EWDSM classification structure

<pre> classs CEW: public COBJect 属性: 设备名称 方法: 数据库操作 </pre> <p style="text-align: center;">基类</p>	<pre> class CESM: public CES 属性: 方法: void Intercept(); // 捕获 void Sort(); // 分选 void Identify(); // 识别 </pre> <p style="text-align: center;">派生类</p>	<pre> class CJAM: public CEW { public: CESM * pESM; CECM * pECM; } </pre> <p style="text-align: center;">复合类</p>
--	--	--

图 2 电子战基类、派生类和复合类
Fig. 2 EW base class, derived class and compound class

(4) 传感器/目标及其抗电子干扰类。

基类、派生类、复合类形成 DSM 类体系。复合类是指可由多个类所派生的类,即继承多个基本类的属性和方法,见图 2 示例。

其中的电子侦察类的功能和结构设计可详见文[4]。事实上,仿真系统中还应包括其它辅助的仿真模型,但可认为不是属于电子对抗类的范围。

2.2 电子战仿真的面向对象软件系统

上述与系统层次和结构的模型有关的类定义完毕后,应用软件系统编程的主要内容就是创建实例和发送消息,消息传递过程通过函数调用来表示。例如:

```
CESM esm1;
```

```
.....
```

```
esm1. Intercept0; // 截获
```

EWDSM 以模型数据库的形式实现,各模型数据库由参数库和算法库组成。在仿真时加载到仿真系统运行。面向对象的雷达电子战系统仿真软件框架设计如图 3。

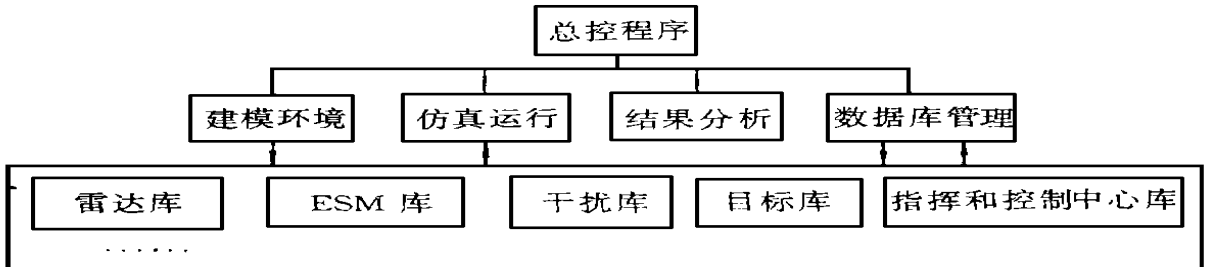


图 3 面向对象的应用软件系统框架

Fig. 3 Object-oriented application software frame

因篇幅所限,以下只简单介绍面向对象的应用软件系统中各模块的功能:

(1) 总控程序模块:提供用户 GUI 接口、各模块之间的控制和接口。

(2) 建模环境模块:建立和修改 EW 系统仿真模型的结构、算法;建立和修改 EW 系统作战模拟场景;建立和修改仿真实验框架。

(3) 仿真运行模块:运行、暂停、调试仿真模型,观察仿真模型的动态中间结果。

(4) 结果分析模块:选择评估准则、评估指标,对仿真运行的试验结果和数据进行统计、分析,最后按图表显示、打印和存储。

(5) 数据库管理:添加、修改、查询仿真数据库的数据和结构。

3 基于 HLA/RTI 分布仿真的电子战 DSM 设计

以运行支援系统 RTI(Run Time Infrastructure)为核心的高层体系结构 HLA(High Level Architecture),为分布仿真提供了一种软件总线和软件构件的技术框架,其软总线 RTI 提供了在分布环境中集成多种类型仿真应用的功能。一个依据 HLA 规范的仿真系统称为联邦(Federation),联邦是由分布的仿真应用(称为联邦成员 Federate)、RTI 和联邦对象模型构成的^[3]。

HLA/RTI 的前身 DIS(分布交互仿真)研究的主要是地面实体仿真行为的定义工作,战斗是在可视范围内接触进行的。而拥有 EW 能力的“虚拟战场”将延伸实体的感知能力,提供空中和海洋超视距的大范围接触。所以电磁环境的分布辐射生成 DER(Distributed Emission Regeneration)将成为“虚拟战场”的一个重要方面。DER 的过程是,代表实体辐射源系统的 Federate 负责建立辐射源的状态,实体辐射源状态的变化通过标准的协议传递给其它实体(协议的内容见图 4),接收的 Federate 负责解释辐射的真实感应数据,以及决定辐射的感知方式,即可探测与否。在仿真网络中的传输数据称为辐射源协议数据单元 PDU(Prototype Data Unit),辐射源平台的信息则在实体 PDU 的内容中决定。图 4 是雷达

辐射源 PDU 在电子侦察系统中需要的部分内容。

能实现 DER 是 EWDSM 的设计要求之一。为实现 DER, 必须设计 DSM 核心模块之间通信的协议内容即 PDU。模拟实体辐射源系统的 Federate 负责建立辐射的状态。可观测到的实体辐射状态的变化通过上述标准的协议传递给其它实体。接收的 Federate 负责解释辐射的真实感应数据, 以及决定辐射的感知方式。最后, 由辐射参量的建模可减少通信处理量。另外, Federate 之间的信息交换通过 RTI 进行, 各 Federate 之间不能交换信息。

为了支持各级逼真度的仿真, 这种方式是通过一个相关的辐射数据库来实现的。被传输的是仿真辐射源系统的 Federate 与辐射源描述的一组参量, 这组参量描述了其辐射的基本特性。例如对最低逼真度, 接收机只需要部分电磁辐射 PDU 的数据。通过检查系统描述和辐射位置, 接收 Federate 只简单地决定辐射源和接收机是否匹配, 辐射源是否在一个预定义的距离准则之内。对更高级的逼真度, 接收机使用的是来自辐射源数据库的参量数据及模型结构的基本参量, 来重构每个波束的脉冲系列。接收端 Federate 由辐射源 PDU 进行电磁信号重构的过程, 因篇幅所限略之。

4 结束语

EW 系统仿真和评估是一门实用性、综合性很强的交叉领域。EWDSM 是随着计算机硬件性能的提高和先进的计算机仿真技术、计算机软件技术的出现而来的 EW 系统仿真和评估手段的一种新的趋势。EWDSM 的设计方法诸如面向对象的分析和设计方法, 基于 HLA/RTI 的先进仿真技术的规范, 已经在电子侦察系统仿真分析、常规/新体制雷达仿真评估系统的设计开发过程中得到应用, 并发挥了其设计思想和设计方法的巨大先进性。EWDSM 作为一种大型的仿真应用软件系统工具, 将成为构筑大规模 EW 仿真系统的基石。

参考文献

- 1 William K. McQuay & Kenneth R. Allen. J-MASS in the EW test and Evaluation Progress. Proceedings of the IEEE, NAECON 1995: 793 ~ 798
- 2 曾洪祥, 周一宇, 吴京. 计算机仿真评估电子战系统的基本方法. 计算机仿真, 1999
- 3 邱晓刚, 黄柯棣. HLA/RTI 功能评述. 系统仿真学报, Vol. 10, No. 6, 1998, 10(6): 1 ~ 6
- 4 谢小霞, 吕晓雯. 侦察系统仿真分析. 电子对抗技术, 1998, 4
- 5 Coady P, Yourdan E. Object-Oriented Analysis, New York: Prentice-Hall, 1990
- 6 殷兴良. 防空导弹作战模拟中的电子对抗仿真. 系统工程与电子技术, 1998, 2: 37 ~ 42
- 7 Hubert H, Chin Ph-D. Intelligent simulation support system: used in electronic warfare simulator. American Institute of Aeronautics and Astronauts (Aiaa-92-4811) Sept., 1992
- 8 Packer R J. Computer Modeling of Advanced Radar Techniques: The Advanced Radar Simulator. Electronic Warfare Systems, IEE Colloquium on, 1993
- 9 Linda Whatmore. The Evaluation of Radar Effectiveness Using the Generic ECMES Model. Computer Modeling and Simulation of Radar Systems. IEE Colloquium on, 1993
- 10 Debra R. Hall & Frank Catts. An air-to-air situationally interactive combat model(SICM). NAECON, 1994: 960 ~ 967

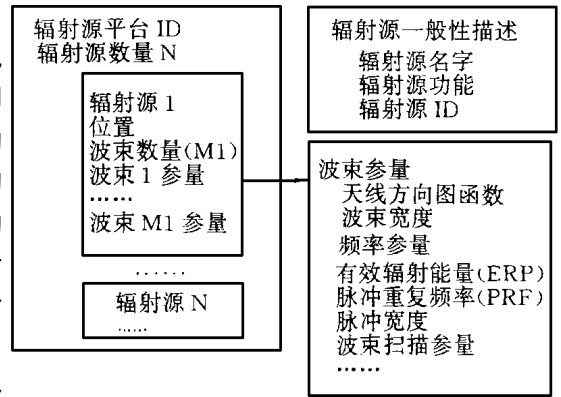


图 4 电子侦察系统所需的雷达辐射源 PDU 的部分内容

Fig. 4 Part of emitter PDV's content in ESM