

Model Service Architecture and Method for Antimissile
Early-Warning System Operational Simulation

反导预警作战仿真模型 服务体系与方法

李宏权 郑国杰 裴兰珍 赵倩 王洪林 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

反导预警作战仿真模型 服务体系与方法

Model Service Architecture and Method for Antimissile
Early - Warning System Operational Simulation

李宏权 郑国杰 裴兰珍 赵倩 王洪林 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

信息化条件下的反导预警作战是基于信息系统的体系作战。反导预警作战体系是一个有其自身特殊性的军事系统,呈现体系化、顶层化和信息主导等特点。传统的建模仿真方法难以完全适用,急需在建模仿真和模型服务方法上取得突破。本书以完善空军作战仿真模型体系为牵引,以服务空军作战仿真实验为目标,以支撑反导预警作战体系仿真研究为切入点,应用理论与仿真实验分析相结合的方法,提出了基于体系结构建模和模型驱动体系的反导预警作战体系建模仿真框架以及基于云计算技术的模型服务方法。基于反导预警体系作战建模仿真及模型服务框架,按照建模仿真与模型服务需求分析、作战体系概念建模、数学逻辑建模、模型服务实现、仿真系统实现与仿真实验分析的步骤对反导预警作战体系建模仿真及模型服务全过程进行了深入研究。

本书可作为军种战役、军事训练和军事运筹学学科博士和硕士研究生的教学参考用书,也可作为从事战略预警、战役训练、作战模拟仿真系统教学和科研工作人员的参考书。同时,也为部队信息化建设的规划和顶层设计提供借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

反导预警作战仿真模型服务体系与方法/李宏权等
编著. —北京:国防工业出版社,2015. 2
ISBN 978-7-118-09622-4

I. ①反... II. ①李... III. ①反导弹—作战模拟—仿真模型 IV. ①E83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 024351 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 15 1/2 字数 276 千字

2015 年 2 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1 - 2500 册 定价 48.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

随着信息技术在军事领域的广泛应用,信息化战场正逐步向陆、海、空、天、电一体化方向扩展,弹道导弹、巡航导弹、四代战机、空天飞机等现代空袭兵器的威胁日益严重。弹道导弹因其突防率高、射程远、防御困难,是国家战略安全的最大隐患。空天防御尤其是弹道导弹防御将逐步成为未来空军作战的主要任务之一。加强反导预警作战仿真研究,促进其在模拟训练和作战仿真实验等方面应用的需求极为迫切。为了满足部队对反导预警作战模拟训练和作战仿真实验系统的需求,降低系统的开发成本、提高系统的开发效率,增强仿真系统的灵活性和可扩展性要求,急需一种能够有效支撑反导预警作战仿真的建模与模型共享服务的方法和手段。

反导预警作战仿真模型体系与服务方法的目标:以服务的方式解决反导预警作战仿真模型共享的问题,努力实现把反导预警作战模型整合起来,给各种仿真应用使用,实现资源的共享和面向用户的透明服务。这里的资源包括计算资源、存储资源、网络资源、数据资源和对于作战仿真最重要的模型资源。作战仿真模型服务的核心理念是服务,以反导预警作战仿真需求为中心,研究反导预警作战仿真模型服务体系与方法,可以为用户提供更多、更优、更方便的模型服务。

本书除倾注了作者的辛勤劳动外,还要特别感谢空军指挥学院的毕长剑教授,他对本书提出了许多宝贵的意见。同时,空军指挥学院的邓桂龙副教授,空军预警学院的熊家军教授、闫世强教授、丁健江教授、田康生教授、周俊教授、岳明光副教授对本书给予了指导意见。最后,还要感谢空军预警学院预警情报组网实验室的金宏斌主任,感谢他对本书工作上的帮助。

空军预警学院科研创新基金支持,课题编号:2013ZDJC0101。

尽管我们做出了最大的努力,但由于该书内容涉及多个学科专业,知识面宽,有些还处于不断发展之中,难免存在疏漏之处,恳请同行专家和广大读者批评指正。

作者

目 录

第1章 绪论	1
1.1 反导预警仿真模型服务相关概念	1
1.1.1 弹道导弹	1
1.1.2 反导作战	2
1.1.3 反导预警	2
1.1.4 反导预警作战体系	2
1.1.5 作战模型	3
1.1.6 模型共享	3
1.1.7 模型服务	3
1.2 相关领域的国内外研究与发展现状	3
1.2.1 基于体系结构分析的体系建模仿真	3
1.2.2 基于复杂系统的作战体系建模仿真	7
1.2.3 反导预警体系建模仿真	8
1.2.4 体系对抗建模仿真	11
1.2.5 作战仿真模型服务	13
1.3 本书的主要研究内容及组织	19
1.3.1 本书的主要研究内容	19
1.3.2 本书的内容组织	20
第2章 反导预警作战仿真建模与模型服务需求	22
2.1 作战体系及其分析框架	22
2.1.1 体系与体系结构	22
2.1.2 作战体系	23
2.1.3 作战体系与装备体系辨析	23
2.1.4 作战体系分析框架	24
2.2 反导预警作战军事架构分析	25

2.2.1	作战使命分析	26
2.2.2	作战任务分析	26
2.2.3	作战能力分析	27
2.2.4	体系构成分析	28
2.3	反导预警作战仿真与模型服务需求分析	33
2.3.1	作战体系建模仿真需求	33
2.3.2	反导预警作战建模仿真需求	34
2.3.3	反导预警体系作战仿真模型服务需求	37
第3章	反导预警作战仿真模型服务框架	39
3.1	基于对象模型的典型仿真框架分析	39
3.1.1	FLAMES 系统及其对象模型体系框架	39
3.1.2	JSIMS 仿真及其军事建模框架	40
3.1.3	OneSAF 建模框架	41
3.1.4	可扩展建模与仿真框架	42
3.2	反导预警作战仿真模型服务体系结构	43
3.2.1	传统作战仿真系统开发过程分析	43
3.2.2	CMS&P 模型服务体系	44
3.2.3	模型服务体系实现的重难点	45
3.3	MSCP 分析	46
3.3.1	MSCP 的特征	46
3.3.2	MSCP 的研究目标	48
3.3.3	MSCP 的服务模式	49
3.4	MSCP 网络结构设计	53
3.4.1	栅格网络设计	53
3.4.2	网络通信协议	54
3.4.3	网络接入方法	56
3.5	MSCP 层次结构设计	58
3.5.1	云架构的基本层次结构分析	58
3.5.2	基于云计算的 MSCP 体系层次结构	60
3.5.3	MSCP 基础设施层设计	60
3.5.4	MSCP 平台层设计	65
3.5.5	MSCP 应用层设计	68

第4章 反导预警作战多视图概念建模体系	71
4.1 概念模型及建模方法	71
4.1.1 概念模型的主要观点	71
4.1.2 军事概念模型	72
4.1.3 军事概念建模过程	73
4.1.4 主要的军事概念建模方法	74
4.1.5 主要概念建模方法在体系建模上的不足与解决办法	75
4.2 反导预警作战的体系建模支持	76
4.2.1 体系主导下体系结构格式化概念建模支持	76
4.2.2 体系主导下体系结构形式化概念建模支持	81
4.3 作战体系多视图军事概念建模方法	85
4.3.1 作战体系概念建模要素分析	85
4.3.2 作战体系概念建模体系结构	87
4.3.3 BMEWOS 分层多视图概念建模设计	90
4.3.4 多视图方法下概念模型的形式化表达	100
4.4 基于 SysML 的反导预警作战概念模型形式化描述	104
4.4.1 BMEWOS 概念模型的 SysML 描述	104
4.4.2 形式化概念模型的校验	109
第5章 反导预警作战仿真模型体系	111
5.1 模型体系综述	111
5.1.1 模型体系	111
5.1.2 军事训练模型体系	112
5.2 反导预警作战体系对抗仿真模型体系设计思想	114
5.2.1 模型体系设计原则	114
5.2.2 仿真模型的基本框架	115
5.2.3 模型体系的分类与结构	115
5.3 反导预警作战体系对抗仿真模型体系设计	117
5.3.1 物理域仿真模型	117
5.3.2 信息域仿真模型	119
5.3.3 认知域仿真模型	119
5.4 反导预警作战体系对抗仿真物理域建模	120

5.4.1	卫星轨道及运行模型	120
5.4.2	装备探测模型	125
5.4.3	弹道导弹行为模型	129
5.5	反导预警作战体系对抗仿真信息域建模	148
5.5.1	反导预警信息网络模型	148
5.5.2	反导预警信息处理模型	151
5.6	反导预警作战体系对抗仿真认知域建模	162
5.6.1	反导预警目标综合识别模型	162
5.6.2	发射点、落点估计与弹道预报模型	164
5.6.3	反导预警威胁估计模型	168
5.6.4	反导预警情报协同模型	171
第6章	反导预警作战仿真模型服务资源管理	174
6.1	基于云计算的硬件资源管理	174
6.1.1	基于云计算的资源池设计	174
6.1.2	云中的资源发现方法	175
6.1.3	云中的资源调度策略	176
6.1.4	资源调度策略的实现	176
6.2	模型资源全生命周期管理	178
6.2.1	领域需求分析	178
6.2.2	模型需求制定	179
6.2.3	模型设计实现	180
6.2.4	模型评审验收	180
6.2.5	模型资源注销	181
6.3	模型数据资源管理	182
6.3.1	数据虚拟化映射	183
6.3.2	数据传输	184
6.3.3	数据副本管理	187
6.4	任务调度管理	188
6.4.1	任务调度目标函数	189
6.4.2	调度算法分类	189
6.4.3	无依赖关系任务的遗传调度算法	190
6.4.4	有依赖关系的调度算法	191

第 7 章 反导预警作战仿真模型服务实现方法	192
7.1 基于 MSCP 的反导预警作战仿真	192
7.1.1 基于 MSCP 的反导预警作战仿真模式	192
7.1.2 基于 MSCP 的反导预警作战仿真流程	193
7.2 反导预警作战仿真实验编辑	196
7.2.1 Eclipse 插件机制	196
7.2.2 作战计划编辑器的设计	196
7.2.3 作战计划编辑器的实现	198
7.3 反导预警作战仿真模型服务组件装配	199
7.3.1 模型服务组件的匹配	199
7.3.2 模型服务组件的连接	202
7.3.3 模型服务组件的组装	205
7.4 基于信任的模型服务选择	207
7.4.1 信任的定义	207
7.4.2 基于信任的服务选择算法	208
7.4.3 信任更新方法	211
7.5 反导预警作战仿真模型服务运行	212
7.5.1 运行脚本的 XML 文档结构	212
7.5.2 运行脚本的解释执行过程	214
第 8 章 反导预警作战仿真系统设计实现	216
8.1 “体系主导、模型驱动”的 BMEWOS 建模仿真框架分析	216
8.1.1 BMEWOS 建模仿真框架	216
8.1.2 基于“SD-MD”框架的 BMEWOS 建模仿真过程	221
8.2 反导预警作战仿真原型系统设计	223
8.2.1 系统运行环境	223
8.2.2 系统总体结构	224
8.2.3 联邦成员设计	225
8.2.4 仿真设计	226
8.3 基于原型系统的仿真实验分析	229
8.3.1 原型系统实现与运行过程	229
8.3.2 仿真实验与结果分析	230
参考文献	235

第1章 绪 论

随着信息技术在军事领域的广泛应用,信息化战场已经从陆地和航空空间向航天空间扩展,弹道导弹、巡航导弹、四代战机、空天飞机等现代空袭兵器的威胁日益严重。弹道导弹因其突防率高、射程远、防御困难,是国家战略安全的最大隐患。近年来,由于弹道导弹技术的进一步扩散,拥有和谋求拥有弹道导弹的国家和地区越来越多,各国和地区都在不断提高其弹道导弹作战能力。空天防御尤其是弹道导弹防御将逐步成为未来空天作战的主要任务。反导预警体系建设作为新型空天作战力量建设的一个重要内容,加强其建模与仿真研究势在必行。

1.1 反导预警仿真模型服务相关概念

随着弹道导弹防御技术的发展,反导预警作战的概念也不断地发生变化,因此有必要对于反导预警作战仿真及模型服务的相关概念进行科学准确地界定。

1.1.1 弹道导弹

弹道导弹是指一类除一小段为有动力飞行并有制导的弹道外,大部分为沿着无动力的自由抛物体弹道飞行的导弹^[1]。弹道导弹在火箭发动机的推力作用下或利用弹射装置发射并按程序飞行,当运动参数(高度、速度、弹道倾角)达到命中目标所要求的参数值时发动机关机,随后与弹体分离的弹头(或整个导弹)在地球引力的作用下沿着近似椭圆轨迹或在制导系统的控制下飞行。

弹道导弹可以从不同的角度进行分类^[2]:①按照作战任务,可分为战略弹道导弹(Strategical Ballistic Missile, SBM)和战术弹道导弹(Tactical Ballistic Missile, TBM)。SBM是一种威慑力量,战争中用于毁伤敌方重要战略目标,包括远程弹道导弹和潜地导弹等,通常都带有核弹头。TBM一般指近程地地弹道导弹,用于毁伤敌方战役战术纵深内的目标。②按照射程大小,可分为近程弹道导弹(射程小于1000km)、中程弹道导弹(射程为1000~5000km)、远程弹道导弹(射程为5000~8000km)和洲际弹道导弹(射程大于8000km)。③按弹头装药,可分为核导弹和常规导弹。④按发射位置,可分为陆基弹道导弹和潜射弹道导

弹。⑤按主发动机推进剂,可分为液体弹道导弹和固体弹道导弹。⑥按级数,可分为单级和多级弹道导弹。

1.1.2 反导作战

反导作战有广义和狭义两个范畴。通常,反导作战一般指针对弹道导弹的作战。随着导弹技术的发展,导弹的类型越来越多,在不同的应用场合,反导作战的概念也有了一定的扩展。反导作战通用的定义是“使用反导弹武器拦截来袭导弹或使其失效的作战行动。主要包括战略反导、战区反导和战术反导。”因此,广义的反导作战除针对弹道导弹的作战外,还包括对巡航导弹、空地导弹以及反辐射导弹等防空范围内导弹的作战。

从狭义上看,反导作战即指针对弹道导弹的作战,又称弹道导弹防御。反导作战的使命任务是使用反导预警探测装备探测、跟踪、识别来袭的各类弹道导弹目标,利用动能拦截武器、激光拦截武器等手段,摧毁来袭的弹道导弹目标或使其丧失对预定目标的攻击能力,从而确保我方安全^[4]。

反导作战的武器系统是弹道导弹防御系统,又称反弹道导弹系统,通常由打击(拦截)分系统、预警分系统、指挥控制和通信分系统等组成。其中:打击(拦截)分系统又可以分为助推段拦截、中段拦截和末段拦截(包括末段高层拦截和末段低层拦截)三个层次;预警分系统,也称目标探测分系统,是弹道导弹防御系统的“眼睛”,为弹道导弹防御提供目标情报;指挥控制和通信分系统是弹道导弹防御系统的“大脑”和“神经”,它可以将防御系统的各个组成部分连接成一个有机整体,协调控制分系统的运行,共同完成反导作战任务。

本书中的反导指狭义的反导作战,即针对弹道导弹的反导作战。

1.1.3 反导预警

反导预警是对敌方弹道导弹发射征候和来袭情况进行侦察、探测,并发出警报的活动,分为战略导弹预警和战术导弹预警。

从定义上看,反导预警作战是综合利用各种探测、监视和通信手段,对来袭的弹道导弹进行早期发现、连续跟踪、目标识别、弹道和落点预报,为拦截武器系统提供目标指示信息并对拦截效果进行评估的作战行动^[4]。

反导预警作战的依托是反导预警系统。反导预警系统是反导作战中对弹道导弹目标实施预警探测任务的系统,是战略预警系统的一部分。

1.1.4 反导预警作战体系

反导预警作战体系(Ballistic Missile Early Warning Operational System, BME-

WOS),是指在空天战场环境中,为达成反导作战目的,各种地(海)基、空基和天基反导预警作战力量,按照一定的组织结构,在指挥信息系统的指挥控制下,以信息网络为支撑通过统一的行为而形成的有机整体。

1.1.5 作战模型

作战模型是对作战行动过程的一种抽象和类比表示。通常,在军事上以作战为目的用来研究作战问题的模型都可称为作战模型。但在多数情况下作战模型是针对作战模拟而言的,因此也称为作战模拟模型。作战模型是反导预警作战仿真系统构成的核心要素。

1.1.6 模型共享

模型共享是指模型作为一种资源,实现用户的共同分享。用于反导预警作战仿真的军事模型主要是以知识或软件代码的形式存在,其作为一种特殊的资源,不会因为共享人数的增多而导致数量上的减少。相反,一个模型共享人数越多,就越能提高模型的自身价值,也有利于及时发现军事模型存在的问题和错误,提高模型的正确性和健壮性。

1.1.7 模型服务

模型服务的含义是模型主动履行职能。模型服务是模型共享功能的进一步延伸,模型共享是被动的,用户需要主动去了解模型的功能、用途、接口等属性,增加了模型使用的难度。模型服务是主动的,它将根据用户的需求,主动为用户提供模拟训练所需的模型服务。

1.2 相关领域的国内外研究与发展现状

反导预警作战仿真模型服务的相关领域有很多,本书重点从基于体系结构分析的体系建模仿真、基于复杂系统的作战体系建模仿真、反导预警体系建模仿真、体系对抗建模仿真以及作战仿真模型服务等五个方面,分析相关领域的国内外研究与发展现状。

1.2.1 基于体系结构分析的体系建模仿真

体系作战能力分析与评估是仿真技术在军事领域的一大应用。为了保证分析、评估结果可用、可靠,需要从体系对抗的角度出发,对敌我双方的作战体系从概念、功能和能力等方面进行精确建模。建模过程中主要存在两个方面的问题

题^[5]:一是作战体系中各实体在不同的仿真应用中由不同的模型表示,并且在功能和行为的表达上存在不一致,从而导致不同仿真应用之间在模型语义层面上的互操作存在问题;二是作战体系的实体能力、作战概念、方案和流程等信息难以一致地反映到仿真应用中,从而导致仿真结论的可信度不高,作战效能评估的有效性难以保证。产生上述问题的原因在于,对建模仿真中体系对抗双方的作战对象缺乏整体的、全局的、一致的设计。

引入基于体系结构分析的体系建模仿真思想进行体系建模仿真设计,是应对上述难题的一种解决方案。美国国防部于 2004 年正式颁布了 DoDAF 1.0 的体系结构框架标准。2011 年 9 月,颁布了最新的 DoDAF 2.0 框架。美国国防部将 DoDAF 作为指导武器装备体系结构开发的纲领性规范强制推行。规范描述的模型包含了从体系的需求、功能、结构、技术标准到体系作战运用等全领域和全视图的要素,在客观上为装备性能、体系效能及体系对抗仿真提供了完备的信息输入源,为解决体系建模仿真问题提供了良好的技术支撑。

虽然,体系结构建模实现了复杂系统的抽象,为我们提供了一个把握研究对象特性的可视化方法;但是由于大部分体系结构框架只能得到静态的模型产品,这些模型的描述均采用图形、文字等静态的格式化表现形式,难以对体系在特定领域作战环境中的行为机制、执行性能和整体效能做出合理的动态分析,且难以证明和验证^[6]。为了能仿真、动态观察、验证作战体系,国内外对可执行体系结构的研究应运而生。

1. 可执行体系结构仿真分析方法

在国外,MITRE 公司提出了“可执行体系结构分析方法”来分析、评估 DoDAF 体系结构^[7],其基本思想是将体系结构开发工具开发的 DoDAF 中的关键产品导入成可执行的形式,把业务过程模型、通信网络模型以及作战仿真环境通过仿真平台连接起来,形成一个统一的执行体,对体系结构表示的系统以及能力进行动态分析。乔治·梅森大学的系统体系结构实验室正在进行体系结构建模、设计、评估方面的研究,并正在开发用于表示体系结构和组织的可执行模型以及一套体系结构验证与评估软件 CAESAR^[8]。

2. 基于过程模型的体系结构可执行化仿真方法

该方法的基本思想是将体系结构的核心业务过程进行可执行设计,并把业务过程分配给不同组织的角色来执行。在业务过程执行中,角色具有不同的权利和职责,要消耗一定的时间等资源来完成特定的工作。过程模型的执行可以是 IDEF^① 过程模型,也可以是业务流程建模语言(Business Process Modeling No-

① IDEF 是 1981 年美国空军公布的一整套用于企业分析、建模与设计结构化分析方法。

tation, BPMN) 表示的业务过程模型, 再使用 Popkin 公司的 System Architect 来实现基于过程模型的可执行体系结构方法^[9]。该方法最大的优点是可以很好地仿真业务流程以及资源的使用情况, 为业务决策提供依据。

3. 基于可执行体系结构定义语言的体系结构仿真方法

可执行体系结构定义语言 xUML 是 UML 语言和行为描述形式化语言的综合成运用, 其目的是为了能够精确定义各种模型语言的静态语义和行为语义。在可执行方面, 它运用行为描述语言来精确地定义系统的动态行为。基于 xUML 的可执行体系结构方法主要是应用可执行体系结构定义语言对体系结构在系统视图方面的特性进行建模仿真。它能有效地对系统功能建模, 评估系统体系结构设计的优劣^[10]; 但该方法得到的是系统的异步视图, 且集中于独立对象的相对行为, 缺乏和作战视图的一致性联系, 无法驱动系统视图的功能执行, 也无法形成一个内部一致的执行体, 从整体上来评估体系结构、验证作战概念。

4. 体系结构产品动态可执行化仿真设计

体系结构产品动态可执行化设计主要是通过对 DoDAF 体系结构产品的扩展, 形成反映企业业务需求、系统运行特征的可执行体系结构产品, 在体系结构执行框架支持下得到体系的动态特征。文献[11]对可执行体系结构做了深入研究和应用尝试, 为可执行体系结构设计了包括使命、任务、场景、对象、业务活动等 22 个核心元素, 从三个视图来描述可执行体系结构, 用可执行性体系结构描述框架来设计仿真模型, 便于参与仿真研究的各方人员交流, 也便于对仿真模型进行有效性检验。

5. 基于 Petri 网的体系结构可执行化仿真方法

目前可执行体系结构还不成熟, 单一的建模工具还不能够得到体系动态行为的规范、表示、执行和分析。因此, 必须综合多个建模工具进行体系结构的可执行化设计。

IDEF、UML 或 SysML^① 使用严格的语法和丰富的语义来说明系统规范, 可以用于表示体系的形式化模型, 但得到的只是静态模型。为此, 美国空军科学顾问 Levis 教授引入了 Petri 网建模方法来解决可执行化的问题^[12]。面向对象 Petri 网 (Object-based Petri Nets, OPN) 和着色 Petri 网 (Colored Petri Nets, CPN) 都可以用来得到可执行模型, 它们提供了形式化动态语义和行为建模与分析, 是形式化体系结构描述的有益补充。为了将 IDEF、UML/SysML 表示的体系结构模型映射到 OPN 或 CPN 的元素, 需要开发一个形式化的过程来完成此映射。

^① SysML 是系统工程国际委员会 (INCOSE) 和对象管理组织 (OMG) 在 UML 语言基础上提出的一种新的系统建模语言。

图 1-1 表示了一个可执行体系结构框架的建立过程^[6]。

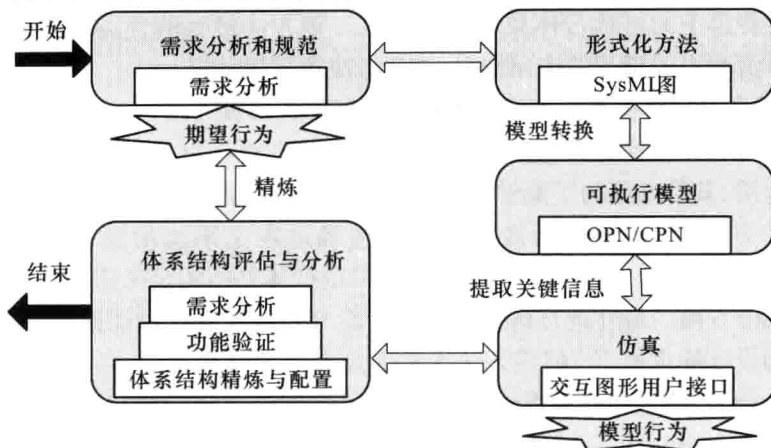


图 1-1 可执行体系结构框架

可执行体系结构框架是一个迭代过程,从需求分析和规范开始,该过程要捕获体系所期望的行为。可执行模型(OPN/CPN)是由静态模型(UML/SysML图)开发得到的,能够产生动态行为。通过仿真可以提取关键信息,从而支持体系结构的评估与分析验证。

国内外对基于 Petri 网的体系结构可执行化方法做了诸多研究:文献[13]指出从 UML 活动图中抽取语义信息建立 CPN 可执行模型的基本思路;文献[14]给出由 SysML 语言描述的体系结构产品建立 CPN 可执行模型的方法;国防科学技术大学 C⁴ISR 技术重点实验室以体系结构框架为基础,利用 IDEF0 描述作战活动模型,并结合基于 OPN 的建模仿真环境,研究了从 IDEF 模型到 OPN 模型的转换算法^[15]。

由于 IDEF、UML 和 SysML 等形式化描述语言中缺少对输入数据、输出数据等时序关系的描述,因此,在生成的 Petri 网模型中缺少相关信息,需要人工干预的因素较多,对于仿真运行时模型动态性的表达能力不足,对于结构和行为发生变化的系统,模型描述能力不够完善,尤其是不能描述系统状态之间的时间特性,在实际应用时还存在很多问题。

6. 体系结构可执行化仿真的总结

以上的可执行体系结构方法,分别从可执行体系结构定义语言、可执行体系结构产品设计和可执行化转换等几个方面来进行基于体系结构分析的体系建模仿真。文献[16]还把这种可执行体系结构方法称为架构驱动的仿真。但是,从目前来看,可执行体系结构的研究还处于探索阶段,许多相关的概念和方法不是

很成熟,缺乏统一的认识和标准。例如:对可执行体系结构缺乏明确的定义;没有规范的可执行体系结构描述方法;没有一致的可执行体系结构设计与分析方法;缺乏可执行体系结构的执行机制和执行环境;等等。

更为重要的是,对于作战体系而言,虽然通过建模可以得到体系的可视化表示,通过将形式化的体系结构表示转换成可执行模式,可以对系统动态特征进行一定程度的研究,但是要全面准确把握体系的动态特征,能够得到体系结构的验证和确认,并能够支撑作战体系的战法研究及模拟训练还得借助于模拟仿真,尤其是分布交互式仿真的手段。

1.2.2 基于复杂系统的作战体系建模仿真

作战体系是成千上万个作战、指挥、通信等实体经由网络连接而形成的复杂巨系统。发生于作战体系之间的作战对抗关系就是体系对抗。基于复杂系统的作战体系建模仿真就是从拓扑角度,把作战体系抽象为一个以作战、指控、通信、感知实体为节点,以各实体间的信息、物质、能量交互为连边而形成的庞大的复杂网络。因而,以复杂系统,尤其是复杂网络理论为基础,以多 Agent 建模仿真为支撑技术,构建基于复杂网络的体系对抗模型,进行体系对抗建模仿真实验,探索信息化战争作战体系形成、演化与两大敌对体系对抗的特点、规律,进而揭示信息化战争的科学本质与调控机理,已经成为基于信息系统的体系作战能力研究的前沿课题之一^[22]。

1. 作战体系复杂系统的主要研究内容

1) 作战体系的复杂网络特性研究

主要是分析作战体系的网络化特性、生成及演化机制,建立反映作战体系特性的网络拓扑模型与算法。通过基于复杂网络的体系仿真,分析体系网络的脆性与防护方法,发现制约体系能力生成的瓶颈,找出体系网络的破坏机制与防御手段。

2) 作战体系中指挥控制的复杂系统建模仿真

主要包括指挥控制系统复杂网络的拓扑特性与行为机理研究,基于 Agent 的指挥控制过程及实体行为建模。通过构造指挥控制系统网络化模型,对指挥控制网络拓扑特性和指挥控制智能行为进行仿真,验证指挥控制系统的结构与功能合理性。

3) 体系对抗中的复杂系统特性建模

主要研究具有同构或异构拓扑特性的两大对抗体系之间的交战过程与方法。研究体系网络拓扑结构如何影响体系对抗作战行为,以及网络拓扑结构与体系作战个体行为的相互影响过程。

4) 作战体系复杂网络仿真实验

主要研究作战体系复杂网络的仿真实验手段与分析方法,开发作战体系网络仿真分析系统,对体系网络的生成、破击、防御机制进行仿真实验。通过对体系对抗仿真原理与方法的探索,构建基于复杂网络的体系对抗仿真系统,发现体系对抗交战模式下作战体系演化的动力学机制,总结、提炼体系对抗的作战理论与方法。

2. 国内外作战体系复杂系统研究进展

国内外都基于复杂系统理论对作战体系进行了相关的研究。在基于多智能体系统(MAS)和复杂网络的作战体系建模仿真等方面取得了一定的成果。

国外,澳大利亚防务科学与技术中心的 Dekker^[17]提出一种对作战系统进行网络化分析的 FINC(Force Intelligence, Network, and C2)方法。该方法将作战组织抽象为由作战、情报、指挥等三种不同类型的网络节点和描述各类节点间通信关联及通信能力的边构成的作战系统网络模型。美国海军信息时代战争研究专家 Jeffery^[18]分析了现有的网络中心战模型的特点和不足,基于复杂网络理论,提出了一种信息时代作战模型,并详细讨论了模型的数学结构、动态性和演化。

国内,李德毅院士^[19]引入复杂网络的研究成果,分析了网络化战争中网络拓扑结构演化规律,指出了其不同粒度、不同时间、不同视图下的自相似性。谭东风^[20]和沈寿林^[21]等人利用复杂网络模型与邻接矩阵特征值描述方法对作战网络特性进行了研究,取得了一定的研究成果。金伟新^[45]将基于复杂网络与多 Agent 建模结合起来提出了网络化战争体系对抗通用建模与仿真框架,指出了微观基于实体自适应 Agent 交互机制进行建模,宏观基于复杂网络约束的 Multi-Agent 交互多层协同进行建模的思路。

3. 作战体系复杂系统研究总结

基于复杂系统的作战体系建模与仿真通常把作战体系中的各个组成部分抽象为同构的,具有相同功能和特征节点集合,这样虽然便于对作战系统的整体规律进行描述,但是难以表现出实际作战体系中各个组成部分之间功能的差异性以及由此带来的对作战的不同影响。另外,目前基于复杂系统的作战体系建模仿真研究理论还在发展中,在模型的校核验证以及对分布交互式仿真的支持等方面还有很多不足。

1.2.3 反导预警体系建模仿真

自从弹道导弹问世以来,世界军事大国一直在寻找各种对付弹道导弹的途径,发展反导防御系统,积极开展反导预警体系的建模仿真,在反导预警系统建模、仿真实验和装备效能评估等方法取得了一些成果。