

基于仿真的设计与评估

李 妮 著



科学出版社

基于仿真的设计与评估

李 妮 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是一部系统介绍基于建模与仿真技术开展复杂产品设计与评估的专著,主要从建模与仿真支撑平台技术的角度辅助开展复杂产品设计与评估。根据多年来作者所在单位在建模与仿真领域的研究背景和作者的研究开发经历,系统地介绍了面向设计与评估的仿真支撑平台技术(包括面向设计与评估的协同支撑环境、协同建模环境与资源共享和仿真系统互联与互操作)、基于仿真的优化设计(包括并行/智能算法研究及优化设计、智能系统建模仿真平台和基于 CFD 的优化设计)与基于仿真的评估(包括基于多属性群体决策的方案评估、基于多 Agent 系统的风险评估、基于仿真的系统效能评估支撑平台和 VV&A 与可信度评估支撑平台)。

本书可作为高等院校控制科学与工程、计算机科学与技术等相关专业的研究生教材或参考书,也可作为科研人员和工程技术人员的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

基于仿真的设计与评估/李妮著. —北京:科学出版社,2014.3

ISBN 978-7-03-040024-6

I. ①基… II. ①李… III. ①系统仿真-应用-产品设计 IV. ①TB472-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 042968 号

责任编辑:余 丁 张 宇 邢宝钦 / 责任校对:张凤琴

责任印制:张 倩 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 3 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2014 年 3 月第一次印刷 印张:20 1/2

字数:397 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

建模与仿真是一门多学科交叉融合的综合性的技术,它与计算机科学技术和信息科学技术融合,成为继理论研究和实验研究之后的第三种认识及改造客观世界的重要手段。在各类应用需求的牵引和有关学科技术的推动下,经过半个多世纪的发展,建模与仿真技术已经发展形成了较完整的专业技术体系,并成功地应用于航空航天、信息、生物、材料、能源、先进制造等高新技术领域和工业、农业、商业、教育、军事、交通、社会、经济、医学、生命、娱乐、生活服务等众多领域。建模仿真技术具有明显的安全性、可重用性、经济性等特点,已成为支持工程与非工程系统的论证、试验、设计、分析、运行、维护及人员训练等活动的重要科学技术。当前,建模仿真技术与互联网、云计算、物联网、网格计算、大数据技术、服务计算、并行计算、人工智能等新兴信息技术相融合,使得现代建模仿真技术的内涵、模式和手段得到不断拓展和丰富。

该书作者所在单位北京航空航天大学先进仿真技术航空科技重点实验室是我国最早开展建模/仿真技术研究的单位之一,是完成我国首台歼击机飞行模拟器和民用飞行模拟器研制的主要单位,在复杂分布仿真系统、飞行仿真专家系统、虚拟样机技术、分布仿真高层体系结构、网格技术等领域取得了大量创新性成果。该书作者作为该实验室的新生科研与教育骨干,曾主持多项国家自然科学基金、教育部博士点基金、航天创新基金、国防预研基金及国防“十二五”预研课题,并作为重要人员参与了863“仿真网格的应用研究与开发”、985“航空航天复杂产品先进制造系统平台”、211“复杂产品先进制造科学与技术”等研究计划中仿真支撑平台、复杂产品方案评估以及复杂仿真系统 VV&A 与可信度评估等研究工作,积累了丰富的研究经验,取得多项创新成果,发表了许多高质量的论文。与此同时,承担多门建模与仿真方向本科生/研究生课程,培养了与该书内容相关的研究生十余名。

该书依托作者所在单位多年来在建模与仿真领域的研究背景和应用成果,根据作者多年从事系统建模与仿真的研究工作和开发经历,对基于建模与仿真技术的复杂系统设计与评估相关研究成果进行了系统深入的总结提炼。与国内外已出版的同类书籍比较,该书的特点包括:①研究内容新颖。该书将信息技术最新发展成果(包括人工智能技术、新一代网络技术、并行计算技术)与建模仿真技术相结合,用于辅助复杂产品设计与评估。②内容系统充实,应用性强。该书基于建模仿真技术支持复杂系统(如武器装备、飞行器对象在内的各类复杂产品)的设计与评估,主要包括仿真支撑环境技术、基于仿真的产品优化设计和基于仿真的评估技术

三部分内容。从仿真支撑环境体系结构构建方面开展复杂系统优化设计与评估研究,同时也兼顾方法创新、技术实现和应用实例。③创新性好。该书基于作者主持和参与的多项国家级/省部级项目的研究成果,提出的多种新方法和新技术基于作者发表的多篇 SCI 及几十篇 EI 收录论文,以及获批和受理的十余项国家发明专利。④工程性和技术性强。该书对多年来承担和参与的科研项目进行了技术总结,基于当前各种先进的信息技术开发平台和软件开展建模与仿真应用的开发。该书具有良好的技术参考性,可作为从事建模与仿真方向应用开发的工程技术人员和研究生的技术参考资料。

该书兼具科学性、先进性和实用性,相信该书的出版,能够为从事复杂系统设计与评估方向的研究生、科研人员和工程技术人员提供系统全面的参考,进一步促进建模与仿真技术的发展和在各领域的深入应用。

李伯虎

前 言

建模与仿真支撑系统技术是建模与仿真技术体系中的一个重要组成部分,涉及系统总体技术、建模/仿真试验/评估工具引擎技术、可视化技术、集成框架/平台技术、中间件技术和模型库/知识库技术。作者自攻读博士到从事科研教学工作以来,一直从事建模与仿真支撑平台技术方面的研究,基于建模与仿真技术开展复杂系统设计与评估。

本书依托作者所在单位多年来在建模与仿真领域的研究背景和应用成果,根据作者多年来从事系统建模与仿真的研究工作和开发经历,对从建模与仿真支撑平台技术角度辅助开展复杂产品设计与评估的研究成果进行了总结。本书基于作者多年来主持和参与的多项课题研究、发表的论文和申请的专利,有效融合了信息技术最新成果,将人工智能技术、新一代网络技术、并行计算技术与建模仿真技术相结合,用于辅助复杂产品设计与评估。

本书共有 11 章,主要分为四部分。第一部分为第 1 章绪论,对与本书内容相关的仿真支撑环境技术、虚拟样机技术、人工智能技术的发展及应用和复杂系统评估技术的国内外研究发展情况进行综述,介绍了本书的组织结构。第二部分为面向设计与评估的仿真支撑平台技术,包括第 2 章面向设计与评估的协同支撑环境、第 3 章协同建模环境与资源共享和第 4 章仿真系统互联与互操作。第三部分为基于仿真的优化设计,包括第 5 章并行/智能算法研究及优化设计、第 6 章智能系统建模仿真平台和第 7 章基于 CFD 的优化设计。第四部分为基于仿真的评估,包括第 8 章基于多属性群体决策的方案评估、第 9 章基于多 Agent 系统的风险评估、第 10 章基于仿真的系统效能评估支撑平台和第 11 章 VV&A 与可信度评估支撑平台。本书从仿真支撑环境体系结构构建方面开展复杂系统优化设计与评估研究,兼顾方法创新、技术实现和应用实例。基于当前各种先进的信息技术开发平台和软件开展建模与仿真应用的开发,具有良好的技术参考性。

本书内容基于北京航空航天大学先进仿真技术航空科技重点实验室多年来的研究成果,得到作者所在研究团队的大力支持。本书的研究工作得到了国家自然科学基金(61004089)和国家留学基金的资助。感谢王行仁教授和李伯虎院士一直以来对作者学术研究方向的导引,感谢作者博士生导师彭晓源教授和所在研究团队龚光红教授多年来的指导和帮助,感谢王江云副教授在 VV&A 支撑平台方面的帮助,感谢丁莹高工对作者相关课题研究和本书出版提供的各

种帮助。在此对作者指导的多名研究生(刘浩、邓英灿、宫庆义、唐力勇、伊文卿、孙铭慧、贺敏、苏泽亚、任志明),以及协助指导的研究生(董丽丽、孙勇、李亮、田超、高栋栋、王超)表示感谢,他们做了大量的应用开发和实际工作,感谢他们对本书的贡献!

限于作者水平,书中不足之处在所难免,敬请各位专家和同行批评指正!

李 妮

2013 年 10 月于北京

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 仿真支撑环境技术	2
1.3 虚拟样机技术	8
1.4 人工智能技术的发展及应用	11
1.4.1 智能优化算法	11
1.4.2 人工神经网络	14
1.4.3 多 Agent 系统	15
1.4.4 知识工程	16
1.5 复杂系统评估技术	18
1.5.1 多属性群体决策	19
1.5.2 效能评估	21
1.5.3 风险评估	23
1.5.4 VV&A 与可信度评估	24
1.6 本书组织结构	26
参考文献	26
第 2 章 面向设计与评估的协同支撑环境	36
2.1 引言	36
2.2 协同支撑环境体系结构	36
2.3 协同管理服务	40
2.4 综合集成服务	42
2.4.1 研讨管理服务	43
2.4.2 总体设计服务	46
2.4.3 专家系统服务	49
2.4.4 决策支持服务	52
2.5 协同建模服务	57
2.6 协同仿真服务	61
2.7 协同 PDM 服务	65

参考文献	67
第 3 章 协同建模环境与资源共享	69
3.1 引言	69
3.2 面向服务的协同建模与资源共享	71
3.2.1 并行计算/批作业处理服务	72
3.2.2 仿真模型服务	74
3.2.3 仿真模型库管理服务	79
3.2.4 仿真数据服务	83
3.2.5 二维态势显示服务	87
3.2.6 三维可视化服务	89
3.3 基于普适计算的协同建模与资源共享	92
3.3.1 普适仿真体系结构	93
3.3.2 基于本体的上下文感知	96
3.3.3 基于手持设备的门户开发	101
3.3.4 应用实例	102
参考文献	104
第 4 章 仿真系统互联与互操作	106
4.1 引言	106
4.2 基于 Web 的仿真系统运行控制与信息发布	106
4.2.1 系统结构设计与功能	106
4.2.2 关键技术研究是实现	107
4.2.3 应用研究实例	110
4.3 基于 Web 的仿真系统互联	113
4.3.1 系统互联结构设计与功能	113
4.3.2 关键技术研究是实现	114
4.3.3 应用研究实例	115
4.4 基于 Web 的联邦模型共享与动态运行	121
4.4.1 工具集设计	121
4.4.2 基于 Web 的 RTI 实现	122
4.5 HLA Evolved 的发展及应用	124
参考文献	127
第 5 章 并行/智能算法研究及优化设计	129
5.1 引言	129
5.2 多核并行处理在景象匹配仿真中的应用	130
5.2.1 景象匹配算法并行化	130

5.2.2 仿真运行实例及结果分析	134
5.3 多核并行智能优化算法	136
5.3.1 多核并行蚁群算法设计与实现	137
5.3.2 多核并行模拟退火算法设计与实现	138
5.3.3 在 TSP 问题中的应用	140
5.4 一种定性定量结合的混合智能优化算法研究及应用	144
5.4.1 算法设计与实现	147
5.4.2 算法性能测试	149
5.4.3 算法应用——某飞行器外形设计实例	150
5.5 一种改进的文化遗传算法研究及应用	152
5.5.1 算法设计与实现	155
5.5.2 算法性能测试	157
5.5.3 算法应用——超视距多机协同目标分配应用实例	159
5.6 一种改进的量子遗传算法研究及应用	164
5.6.1 算法设计与实现	165
5.6.2 算法应用——工程设计优化应用实例	168
5.7 一种改进的群智能优化算法研究	174
5.7.1 算法设计与实现	174
5.7.2 算法性能测试	177
参考文献	181
第 6 章 智能系统建模仿真平台	184
6.1 引言	184
6.2 智能系统建模仿真平台结构	185
6.3 典型智能模型的开发与集成	186
6.3.1 智能模型的集成开发	186
6.3.2 基于多核并行平台的优化算法实现	193
6.3.3 智能模型的集成调用	194
6.4 智能系统建模仿真集成开发环境技术	195
6.4.1 智能系统建模仿真语言设计	195
6.4.2 翻译与编译技术	197
6.4.3 仿真引擎	199
6.4.4 集成界面开发	201
6.5 应用研究实例	202
6.5.1 基于知识模型的目标选择建模	202
6.5.2 基于 BP 神经网络的目标优先级评估	203

6.5.3 基于智能优化算法的协同攻击方案分配	204
6.5.4 仿真结果分析	205
参考文献	206
第7章 基于CFD的优化设计	208
7.1 引言	208
7.2 基于CFD的优化设计支撑平台体系结构及优化流程	209
7.3 面向CFD设计的单目标优化算法实现	212
7.3.1 一种改进差分并行算法的设计与实现	213
7.3.2 测试与对比	217
7.4 面向CFD设计的多目标优化算法实现	219
7.5 基于CFD的优化设计实例	221
7.5.1 单目标优化实例	221
7.5.2 多目标优化实例	223
参考文献	227
第8章 基于多属性群体决策的方案评估	229
8.1 引言	229
8.2 典型多属性群体决策方法	229
8.2.1 层次分析法	229
8.2.2 模糊层次分析法	230
8.2.3 理想点法	232
8.3 专家个体次序一致性问题	232
8.3.1 循环链理论	233
8.3.2 次序一致性自动检查和推荐调整方法	233
8.3.3 算例	235
8.4 基于共识度达成的群体决策流程及智能调整	235
8.4.1 多属性群体决策共识度数学模型	236
8.4.2 基于共识度达成的群体决策流程设计与实现	237
8.4.3 算例	242
8.5 基于多属性群体决策的飞行器方案评价系统	245
8.5.1 评价系统总体结构	246
8.5.2 评价环境的构建与实现	248
8.5.3 风险评估实例	249
参考文献	252
第9章 基于多Agent系统的风险评估	253
9.1 引言	253

9.2 基于多 Agent 系统的复杂产品过程建模	254
9.2.1 复杂产品设计过程建模	254
9.2.2 Agent 物质交互模型	256
9.3 基于物质流的风险评估方法	257
9.3.1 个体 Agent 设计	257
9.3.2 风险作用机制	259
9.3.3 仿真运行方法	263
9.4 基于 Repast 平台的多 Agent 模型构建	264
9.5 基于多 Agent 模型的风险评估算例	266
参考文献	274
第 10 章 基于仿真的系统效能评估支撑平台	276
10.1 引言	276
10.2 效能评估平台体系结构及评估流程	277
10.3 效能评估平台集成管理技术	280
10.3.1 评估数据管理	280
10.3.2 评估模型管理	283
10.3.3 评估过程管理	284
10.4 应用实例——C4KISR 测试与评估系统	287
10.4.1 测试评估指标体系的建立及评估算法	287
10.4.2 在线/离线测试评估	291
参考文献	293
第 11 章 VV&A 与可信度评估支撑平台	294
11.1 引言	294
11.2 复杂仿真系统 VV&A 与可信度评估支撑平台体系结构	295
11.3 VV&A 与可信度评估任务流程管理	299
11.4 VV&A 与可信度评估方法的开发与集成	301
11.4.1 数据预处理	302
11.4.2 数据分析	305
11.4.3 VV&A 与可信度评估方法的集成应用	312
参考文献	315

第1章 绪 论

1.1 引 言

现代建模与仿真技术是以相似原理、模型理论、系统技术、信息技术和建模与仿真应用领域的有关专业技术为基础,以计算机系统、与应用相关的物理效应设备及仿真器为工具,利用模型参与已有或设想的系统进行研究、方案论证、分析、设计、制造、试验、运行、评估、维护、训练和报废(全生命周期)活动的多学科的综合性的技术^[1]。半个多世纪以来,建模与仿真技术在各类应用需求的牵引及有关学科技术的推动下,已经发展成了综合性的专业技术体系,并迅速地发展成为一项通用性、战略性技术。建模与仿真技术和高性能计算技术,正成为继理论研究和实验研究之后的第三种认识、改造客观世界的重要手段。建模与仿真技术已经发展成了较完整的专业技术体系,并成功地应用于航空航天、信息、生物、材料、能源、先进制造等高新技术和工业、农业、商业、教育、军事、交通、社会、经济、医学、生命、娱乐、生活服务等众多领域。尤其在国防建设、航空航天领域,建模与仿真技术迅速发展为服务于航空航天器、武器装备全寿命、全系统和全方位管理的高新技术。建模仿真技术具有明显的安全性、可重用性和经济性等特点,已成为航空航天器论证、型号研制、鉴定定型、性能评估、训练、编配优化、技术保障和使用等全生命周期中不可缺少的关键支撑技术。

当前,建模与仿真技术正向“数字化、虚拟化、网络化、智能化、集成化、协同化”为特征的现代化方向迅速发展,其研究与应用热点包括:基于下一代互联网技术的建模与仿真技术研究与应用;智能系统建模及智能仿真系统研究与应用;综合自然环境的建模与仿真技术研究与应用;复杂系统/开放复杂巨系统的建模/仿真技术研究与应用;虚拟样机(virtual prototyping, VP)工程技术研究与应用等^[2]。

信息技术的迅猛发展促进了现代建模与仿真技术的飞速发展,并已成功应用于复杂系统研制的全生命周期。在复杂系统协同建模/仿真环境中,团队人员能够共享和协同应用各种软件、硬件、人力和技术等资源,以及实现模型与仿真系统的重用与互操作,支持分布在异地的多学科、多人员、多平台和多应用组成的产品协同设计、评估和全生命周期管理。

目前,世界各国正在竞相发展各类高技术新型武器装备,未来战场环境更加依赖信息技术的应用而且复杂多变。同时切实减少武器装备采办过程中武器装备系

统论证、设计、研制和使用(整个采办过程)的时间、资源和风险,减少采办全生命周期的成本,增加武器装备系统的质量、军事价值和可保障性的呼声也越来越高。在应用需求的牵引与高技术发展的支持下,美国国防部(Department of Defense, DoD)于1997年提出了基于仿真的采办(simulation based acquisition, SBA)新模式^[3],其目的是使武器系统的采办“更好、更快、更便宜”。基于仿真的采办成为当前国内外军事部门和国民经济工业部门研究发展产品的热点课题,它代表了21世纪复杂产品/武器装备研制采办的发展方向。基于仿真的采办是指将建模与仿真技术强健、协同、集成化地应用于武器系统采办各部门、各个采办项目及项目各阶段全过程(包括需求分析和定义、概念设计、详细设计、生产制造、测试评估、使用、维护训练直至武器销毁)的一种新型采办模式。基于仿真的采办核心思想是协同工作,是对传统采办在文化、过程和支撑环境上的变革与创新。一个支持基于仿真的采办全生命周期中相关人员/组织、管理、技术等诸多要素集成优化的协同支撑环境是支持优质、高效实施基于仿真的采办的重要保证^[4]。

通过开展基于建模与仿真技术的复杂产品设计与评估研究,将现代建模仿真技术更好地集成应用于复杂产品构思、设计、开发、制造、运行和评估/训练,直至报废等产品全生命周期的各个阶段,能够进一步推动复杂系统建模仿真技术与工具和基于仿真的采办支撑环境的发展,从而达到大幅度提高产品研制的上市时间(T)、产品质量(Q)、开发费用(C)和产品服务(S)的目的。

本书基于多年来的课题研究和科研经历,系统地介绍了面向设计与评估的仿真支撑平台技术(包括面向设计与评估的协同支撑环境、协同建模环境与资源共享和仿真系统互联与互操作)、基于仿真的优化设计方法(包括并行/智能算法研究及优化设计、智能系统建模仿真平台和基于CFD的优化设计)与基于仿真的评估(包括基于多属性群体决策的方案评估、基于多Agent系统的风险评估、基于仿真的系统效能评估支撑平台和VV&A与可信度评估支撑平台)。

1.2 仿真支撑环境技术

建模与仿真的技术体系日趋形成,宏观来看,建模与仿真的技术体系是以建模技术、建模与仿真支撑技术以及仿真应用技术为核心构成的,如图1.1所示^[2]。其中,建模与仿真支撑技术涉及总体技术、建模/仿真试验/评估工具引擎技术、可视化技术、集成平台技术、中间件/网格中间件、模型库/数据库技术和仿真计算机技术。总体技术涉及规范化体系结构和采用的标准、规范与协议,系统集成技术和集成方法(典型的集成技术如基于高层体系结构(high level architecture, HLA)标准的全生命周期建模仿真工具的互操作与集成技术等)以及系统运行模式等;可视化技术包括计算机图形生成技术、多媒体技术、虚拟现实技术和人机交互技术等;典

型的集成平台技术如基于 HLA 的协同仿真平台技术、综合仿真环境技术;典型的中间件技术如 CORBA(common object request broker architecture)/COM(component object model)/DCOM(distributed COM)/RTI(run time infrastructure)/XML(extensible markup language)技术以及下一代网络中间件技术等。模型库/数据库技术涉及关系/面向对象等数据库技术的建立与管理技术,模型与知识的表达、获取和支持智能化的仿真技术等。

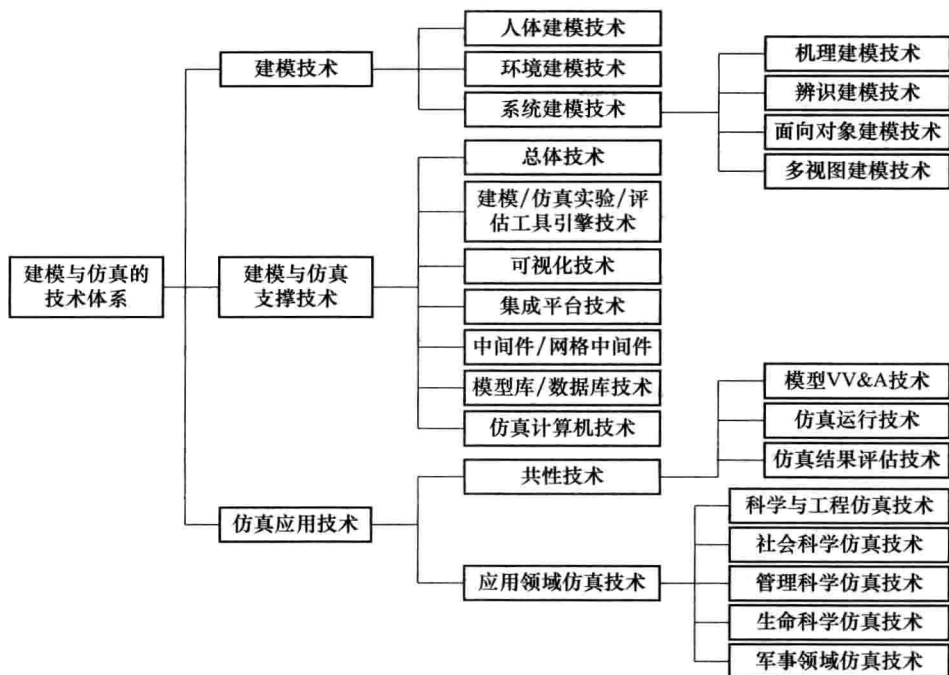


图 1.1 建模与仿真的技术体系

随着网络技术的迅猛发展,在军用、民用复杂系统仿真需求的推动下,自从美国国防部在 20 世纪 80 年代提出先进分布仿真(advanced distributed simulation, ADS)的概念后^[5],先进分布仿真技术与系统经历了 SIMNET(simulator networking)、分布交互仿真(distributed interactive simulation, DIS)、聚合级仿真协议(aggregate level simulation protocol, ALSP)、HLA 几个发展阶段,并在军事领域、医疗、交通、能源等各方面取得了很好的应用效果。

1983 年美国提出的 SIMNET 计划试图将分散在各地的多个地面车辆(坦克、装甲车等)仿真器用计算机网络连接起来,进行各种复杂任务的训练,演示、验证实时联网的“人在回路”的作战仿真和作战演习。在 SIMNET 基础上发展起来的网络互联的 DIS 系统创造了一种综合环境,采用协调一致的结构、标准、协议和数据

库,通过局域网或广域网将分散在各地的各种类型仿真系统互联,人可以参与交互作用。DIS 协议定义了标准的消息格式 PDU(protocol data unit),各个节点通过接收和发送各种 PDU 进行交互,并由接收方决定对其他实体和事件的处理。在 1993 年 DIS 的 PDU 协议规范正式成为 IEEE 1278 标准。DIS 解决了不同仿真节点在一个综合环境下的交互问题。按 DIS 标准构成的仿真系统用于分布式平台级实时连续系统的描述,ALSP 用于分布的聚合级以离散事件为主的作战仿真系统的描述。ALSP 仿真的时间管理可采用时间步长、事件驱动等方法,要保证聚合级仿真系统中时间对所有的仿真应用是一致的,并保证事件的因果关系正确。在 DIS 和 ALSP 的基础上,美国国防部于 1995 年提出了一个仿真技术框架 HLA,其目的是解决军事领域仿真应用之间的互操作性和仿真部件的重用性,同时也在民用领域推广应用。它能够提供更大规模的,将构造仿真、虚拟仿真和实况仿真集成在一起的综合环境,实现各类仿真系统间的互操作、动态管理、一点对多点通信、系统和部件的重用,以及建立不同层次和不同粒度的对象模型^[6]。

仿真技术朝着异地协同、大规模、多粒度和复杂集成的方向发展,特别是应用于大规模军事仿真演练和复杂系统全生命周期的建模和仿真(M&S)。2002 年初,美国国防部提出全面开展军事转型,M&S 领域需要提出相应的技术转型策略。美国国防部建模与仿真办公室为此定义了 XMSF(extensible modeling and simulation framework)^[7,8],以满足大规模信息战的需求。XMSF 采用 Web 技术框架,以 M&S 应用达到更高的互操作性和适应进一步发展为目标。XMSF 的指导思想是利用商业 Web 技术提供一个共享通信平台,通过互联网作为传输框架。XMSF 不是现存标准的替代品,而是提供了一个更为开放的、标准的形式,能够将现在广泛应用的基于 HLA 或 DIS 等标准的应用系统集成到更大规模的应用中。XMSF 可以通过使用企业级别软件开发的主流技术,推进对各种类型的建模/仿真应用在局域网和广域网运行与交互的支持,包括构造、分析、实况、虚拟、基于 Agent 和人在回路等,为现有仿真支撑技术的发展提供进一步扩展的空间^[9]。

协同环境是支持采用建模仿真技术完成产品研制开发的全过程,提供可重用和可操作的模型、工具和数据库等资源的集成环境,从而实现人员相互协作、资源共享、减少重复投资。协同建模/仿真环境面向的领域和涉及的应用不同,典型的系统有 JMASS(joint modeling and simulation system)^[10]、CEE(collaborative enterprise environment)^[11]和 JSF(joint strike fighter)^[12]等。

JMASS 负责开发标准数据模型、仿真体系结构、工具集和支持武器系统分析、开发、采办、测试及评估的建模与仿真重用库。它是一个仿真支撑环境,包含一个定义严格、文档齐全的接口标准集,模型可按此标准集建立。JMASS 提供的软件工具可帮助建模人员建立真实环境系统模型、配置模型,将模型组装成仿真系统,运行仿真系统并且进行结果处理,如图 1.2 所示。JMASS 模型对应于真实环境中

的物理实体,如飞机、雷达、导弹、电子对抗系统或导弹寻的头等。JMASS 定义并提供了标准化的一整套文件格式和应用程序接口,使得模型具有可扩展性和互操作能力。JMASS 提供了标准的服务功能模块,用于调度、空间管理、数据记录、报文登录以及大气层和地形地貌的物理环境。JMASS 遵从 HLA,HLA 具有的通用技术框架保证了各种不同仿真应用间的互操作性,这将使模型在 JMASS 内部能够通过 HLA 与其他仿真应用互操作。JMASS 已经发展成一种具有可重用和互操作模型的基于对象技术的协同建模/仿真环境。为使模型开发遵从体系结构标准,它提供了仿真体系结构和成套工具。JMASS 深深植根于采办、测试和评估界,因此它为交战级分析提供了最佳支持。

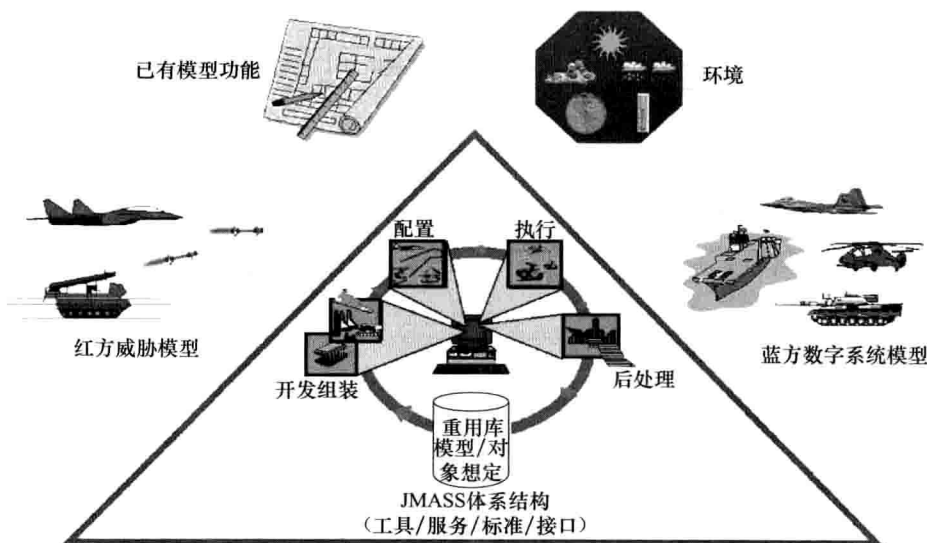


图 1.2 JMASS 体系结构

CEE 在美国空军研究实验室(AFRL)航天航空飞行器设计、信息技术、常规武器、材料与制造、传感器、推力等核心技术领域内支持基于仿真的采办、虚拟样机和产品开发。从建模仿真技术出发,利用虚拟样机技术和协同设计技术,将先进的分布 M&S 技术和一些工程工具在一个虚拟样机环境框架下集成起来,用以支持飞行器产品全寿命周期工程中的技术开发,系统设计,性能、费用和可制造性评估分析。

CEE 建立在一个分布式的网络和信息支持层上,通过一个统一的用户接口与不同设计阶段、领域和层次的设计人员交互。CEE 体系结构中的组成部分包括分布在异构网络上的通信底层支撑结构、核心处理系统,以及用户应用和系统的集合,如图 1.3 所示。CEE 的目标是将美国空军研究实验室中已有的设计资源和工具集成起来,并赋予新的功能,即增强和支持不同的科学家和工程师之间的协同设