

新视野
电子电气
科技丛书

GUIDE TO MODELING AND SIMULATION OF SYSTEMS OF SYSTEMS

体系建模与仿真： 基础与实践

[美] Bernard P. Zeigler 著
[美] Hessam S. Sarjoughian

张霖 宋晓 吴迎年 译



清华大学出版社



Springer



新视野
电子电气
科技丛书

GUIDE TO MODELING AND SIMULATION OF SYSTEMS OF SYSTEMS

体系建模与仿真： 基础与实践

[美] Bernard B. Zeigler
[美] Nassim S. Sanjoughian

著

张霖 宋晓 吴迎年

译



清华大学出版社
北京



Springer

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2014-7912

Translation from English language edition: Guide to Modeling and Simulation of Systems of Systems by Bernard P. Zeigler, Hessam S. Sarjoughian Copyright © 2013, Springer London Heidelberg New York Dordrecht is a part of Springer Science+Business Media.
All Rights Reserved.

本书中文简体字翻译版由德国施普林格公司授权清华大学出版社在中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区)独家出版发行。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

内 容 简 介

体系仿真是解决本世纪全球经济、气候和能源等诸多系统所面临挑战的基本方法。当在现实世界构建这类物理系统变得越来越危险、成本越来越高,而且可能存在道德问题或者具有较大风险时,唯一可行的方案是在虚拟系统中进行构建与试验。

《体系建模与仿真:基础与实践》采用离散事件系统规范(DEVS)和系统实体结构(SES)仿真模型本体支持虚拟构建与测试。详细介绍了如何利用 DEVS 和 SES 基本原理和软件工具 MS4 Me 处理不同类型的体系的建模仿真问题。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

体系建模与仿真:基础与实践/(美)伯纳德·P. 齐格勒,(美)赫萨姆·S. 萨宙尹著;张霖,宋晓,吴迎年译.—北京:清华大学出版社,2018

(新视野电子电气科技丛书)

书名原文:Guide to Modeling and Simulation of Systems of Systems

ISBN 978-7-302-49862-9

I. ①体… II. ①伯… ②赫… ③张… ④宋… ⑤吴… III. ①电子系统—系统建模 ②电子系统—系统仿真 IV. ①TN103

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 053277 号

责任编辑:王一玲 柴文强

封面设计:傅瑞学

责任校对:焦丽丽

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市春园印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:190mm×245mm

印 张:22.75

字 数:409 千字

版 次:2018 年 5 月第 1 版

印 次:2018 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:99.00 元

产品编号:079755-01

序

复杂系统(Systems of Systems)又称体系,指的是一类具有系统组成与层次关系复杂、系统机理复杂、系统的子系统间以及系统与其环境之间交互关系复杂和能量交换复杂,其总体行为呈现出定性定量混合、变结构、自适应、非线性、涌现、不确定、协同、博弈、混沌等特点的系统。

复杂系统的研究与实施,对促进社会经济发展、巩固加强国防建设、提高人民生活质量有着十分重大的意义。实践表明,复杂系统建模与仿真技术是复杂系统研制与应用的重要手段,并正成为现代建模与仿真技术领域的一个研究热点。

原书英文版作者美国 B. P. Zeigler 教授是国际建模仿真领域最有影响力的学者之一,他提出的离散事件系统规范(DEVS)是仿真领域最重要的基础理论之一,其代表作《建模仿真理论》是迄今为止对建模仿真领域影响最大的著作。本书作为 Zeigler 教授在 2013 年的力作,凝聚了他在《建模仿真理论》出版以来的最新研究工作成果。

书中介绍了 Zeigler 教授团队最新开发的基于离散事件系统规范(DEVS)和系统实体结构(SES)的软件包,阐述了如何基于该软件以及智能体(Agent)、云(Cloud)、服务(Service)等新兴技术,对典型复杂系统进行构建、分析和仿真的方法。

此外,作为第一本讲述如何在系统设计中综合考虑能量与信息处理需求的著作,本书提出了一种针对生态系统的建模仿真方法,该方法的创新性在于综合考虑了能量/资源消耗与信息处理成本,能实现生态系统的优化分析与设计。

感谢北京航空航天大学张霖教授、宋晓副教授和北京信息科技大学吴迎年副教授的辛勤工作，他们多年来从事建模仿真领域的相关研究，具有丰富的英文写作与翻译经验，相信他们的专业经验能帮助读者更好地学习和掌握 Zeigler 教授在复杂系统建模仿真领域的最新研究成果。

李伯虎

中国工程院院士

2016 年 12 月

中文版序

本书围绕体系(Systems of Systems, SoS)仿真的“虚拟构建与试验”这一中心主题展开讨论,书中所讨论到的不同技术概念和工具都围绕该主题并以之为线索。

体系的虚拟构建与测试可以由离散事件系统规范(DEVS)建模和系统实体结构(SES)本体所支持。本书讲述 DEVS 和 SES 的基本原理,以奠定 DEVS 系统工程的重要基础。并进一步介绍如何在 MS4 Me 工具集中执行它们。该书分为三部分。第一部分涉及 DEVS 和 SES 基础,从而引出第二部分中的高级概念。本书前两部分提出的想法已经成功应用于许多现实生活中的项目,在本书第三部分给出了这些项目的介绍。

我们与本书译者张霖教授等有长期的学术合作和交流,我们欣喜地发现近年来中国在复杂系统(体系)建模与仿真方面取得了十分出色的成绩,具有发展体系仿真技术的广沃土壤。感谢他们将本书译为中文,为中国读者阅读此书提供了更方便的渠道。

Bernard P. Zeigler

2016 年 12 月

译者序

作为国际仿真领域最重要的学者之一,伯纳德·P.齐格勒(Bernard P. Zeigler)教授的每一本著作都会引起学术界的广泛关注。齐格勒教授于20世纪70年代提出的离散事件系统规范(DEVS)至今仍具有强大的生命力,国际上每年都有以DEVS为主题的学术研讨会以及有关DEVS的研究和应用的论文发表。通过与云技术、智能体、服务科学等新一代信息技术的结合,使得DEVS在处理复杂系统的能力上有了进一步的提高。近年来,齐格勒教授本人花费大量精力致力于DEVS的推广应用,亲自指导开发了基于DEVS的一系列重要的建模仿真工具,如MS4 Me。

本书反映了齐格勒教授及其团队在DEVS方面最新的研究与应用成果,系统且详细地介绍了如何利用DEVS和系统实体结构(SES),在MS4 Me等软件环境支持下,开展各类复杂系统的虚拟构建及仿真试验。

本书共分为三篇,即基本概念篇、高级概念篇和应用篇。第Ⅰ篇基本概念篇(第1章至第8章)从体系建模仿真的需求引出虚拟构建与试验的概念,这是全书的主题和线索。随后从不同角度介绍了一个可支持虚拟构建与试验的基于DEVS的建模仿真环境MS4 Me,这是第一个商业化DEVS产品。之后的几章对DEVS和SES基本原理进行了较为系统的介绍,对其中涉及的一些基本概念进行了讲解,如特化和修剪、方面和多方面等。

第Ⅱ篇高级概念篇(第9章至第12章)进一步介绍了MS4 Me等建模仿真环境中所涉及的更加深入的概念和技术,包括DEVS仿真协议、智能体建模和发布/订阅、基于兴趣关注的信息交换、构建DEVS模型的语言等。

第Ⅲ篇应用篇(第13章至第18章)通过多个实例,介绍了前两篇的概念和工具如何支持针对不同类型系统的虚拟构建与试验。

全书从实例出发,深入浅出,操作性强,既可作为大专院校研究生教材,也可

作为工程开发人员的指导手册,同时也是科研人员深入了解和研究 DEVS 的参考书。

体系建模与仿真是当今仿真领域的重大研究课题,有着极为重要的应用价值。DEVS 理论和工具是支持体系建模与仿真的一种重要手段,有着广泛的应用前景。本书译者与齐格勒教授及其团队有多年的合作与交流,受其委托将此书介绍给中国读者,希望能对我国深入开展体系建模与仿真的研究和应用提供一些参考和帮助。翻译中若有错误和不妥之处,敬请指正。

张 霖 宋 晓 吴迎年

2017 年 1 月

原书序

体系(Systems of Systems, SoS)仿真是解决 21 世纪全球经济、气候和能源等诸多系统所面临挑战的基本方法。一般情况下,我们习惯于在现实世界中直接建立这类系统,然而建立现实世界所对应的物理系统越来越危险,成本越来越高,而且可能存在道德问题或者具有较大风险,因此很多时候不具备建立真实物理系统的条件。在这种情况下,唯一可行的方案是在虚拟系统中构建与测试。本书中,将采用离散事件系统规范(DEVS)和系统实体结构(SES)仿真模型本体支持体系的虚拟构建与试验。

本书引导读者使用基于 DEVS 和 SES 的软件工具处理各种与体系仿真相关的问题,包括基于云技术的人工系统以及诸如农业食品作物的生活系统。同时,本书将深入介绍商业和开源的 DEVS 建模仿真环境。

本书提出在系统设计时考虑能量和信息处理的需求。本书的研究方法与基于 DEVS 的系统设计具有相同的理念和内在脉络,同时允许虚拟地构建与测试系统,并具备模拟生态系统的能力,以平衡其信息处理功能及其中的能量和资源消耗情况。

致谢:感谢所有为本书出版做出贡献的开发者和用户。特别感谢 Doohwan Kim、Chungman Seo、Robert Coop、Ranjit Singh、Robert Flasher、Ting-Shen Fu、Weilong Hu、Vignesh Elamvazhuthi、Phillip Hammonds、Miguel Soto、Raphaël Duboz 和 Jean-Christophe Soulié,正是他们的奉献精神、努力工作和专业知识,使 DEVS 概念可以在包括 MS4 ME™, DEVS-Suite, CosMoS 和 VLE 等软件环境中得以实现。

目 录

第 I 篇 基本概念

第 1 章 体系建模与仿真	3
1.1 虚拟构建与试验	5
1.2 面向虚拟构建与试验的建模和仿真内涵	6
1.3 多范式建模实现多学科协同	7
1.4 学术背景	8
1.5 体系建模和仿真入门	10
第 2 章 DEVS 集成开发环境	11
2.1 MS4 Me 建模仿真环境	11
2.1.1 针对建模仿真用户的介绍	12
2.1.2 针对建模仿真开发人员的介绍	14
2.2 针对建模仿真专家的介绍	17
2.2.1 系统结构和行为	18
2.2.2 有限确定性 DEVS	18
2.2.3 系统实体结构	19
2.3 爵士乐队案例	21
2.4 本章小结	23
附录 DEVS 的关键属性	23
参考文献	26
第 3 章 系统实体结构基础	27
3.1 建模仿真的简单流程	28

3.2	建模仿真过程组件的分解和耦合	29
3.3	建模仿真过程的分层结构	31
3.4	本章小结	38
第4章	DEVS 自然语言模型及其细化	40
4.1	在时间序列中生成作业的 FDDEVS 模型	40
4.2	处理作业的 FDDEVS 模型	43
4.3	简单的工作流耦合模型	44
4.4	在 Java 中将 FDDEVS 细化为具有完整能力的模型	45
4.5	将 ProcessorOfJobs 细化为 Java 模型	51
4.6	变换器：测量作业完成时间和吞吐量的模型	52
4.7	使用细化过程处理不确定性状态转换	56
4.8	使用细化过程处理多路并发输入	57
4.9	使用细化过程生成多路并发输出	58
4.10	使用时序图加快模型开发过程	59
4.11	本章小结	63
附录	变换器 FDDEVS 文件(Transducer.dnl)	64
第5章	特化和修剪	66
5.1	特化	66
5.2	特化的修剪	67
5.3	特化的多次出现	68
5.4	添加特化的规则：没有规则	70
5.4.1	根实体下的特化	71
5.4.2	方面实体下的特化	71
5.4.3	特化实体下的特化	71
5.4.4	组合特化	72
5.5	变量和特化	72
5.6	本章小结	73
第6章	方面和多方面	74
6.1	多方面(分解)	74
6.1.1	表达同一实体的不同方面	74
6.1.2	修剪方面	75

6.1.3 方面:视角和抽象	76
6.2 多方面——实体的多个相关分解	77
6.2.1 方面的局限性	77
6.2.2 多方面重组	77
6.2.3 多方面修剪	79
6.2.4 多方面统一耦合	79
6.2.5 一对多和多对一的耦合	81
6.2.6 基于多方面的分层构建	82
6.2.7 统一成对耦合	84
6.2.8 预定义的耦合规格说明	87
6.3 本章小结	88
参考文献	89
第7章 管理修剪中的继承	90
7.1 创建带下画线的实例	90
7.2 指定继承的基类	91
7.3 配置基类	91
7.4 修剪中的继承	93
7.5 指定来自子类的继承	94
7.6 本章小结	96
第8章 自动修剪和基于规则的修剪	97
8.1 自动修剪	97
8.1.1 枚举修剪	98
8.1.2 随机修剪	98
8.2 上下文无关修剪及上下文相关修剪	99
8.2.1 上下文相关选择的修剪算法	101
8.2.2 有条件的基于规则的修剪	102
8.2.3 unless 或 if-not 条件规则	104
8.2.4 实例:时间严格(time-critical)的建模与仿真	105
8.2.5 从剩余选项中随机选择	105
8.3 本章小结	106
参考文献	106

第Ⅱ篇 高级概念

第 9 章 DEVS 仿真协议	109
9.1 DEVS 仿真协议概述	110
9.2 DEVS 仿真协议在 MS4 Me 中的体现	112
9.2.1 接口对象	113
9.2.2 输入输出端口	113
9.2.3 有限确定性离散事件仿真系统(FDDEVS)规格说明	114
9.3 实现 DEVS 协议的分布式仿真	116
9.3.1 标准的 DEVS 协议实现	117
9.3.2 基于点对点消息交互的 DEVS 协议实现	118
9.3.3 基于实时消息交互的 DEVS 协议实现	120
9.4 作为仿真互操作标准的 DEVS 协议	122
9.4.1 带事件调度仿真器的 DEVS 协议	122
9.4.2 关于仿真的互操作性的经验教训	124
9.5 本章小结	124
附录 A Simulator. dnl 摘录	125
附录 B Coordinator. dnl 摘录	127
参考文献	129
第 10 章 动态结构：智能体建模和发布/订阅	130
10.1 动态结构和智能体建模	130
10.2 基于发布/订阅的数据分发机制	133
10.2.1 发布者	133
10.2.2 订阅者	134
10.2.3 发布/订阅路由器	135
10.2.4 发布/订阅操作	137
10.3 数据分发服务	138
10.3.1 数据分发服务中的 DEVS 仿真协议	139
10.3.2 DEVS 信息	140
10.3.3 相关端口和通信主题	142

10.4 本章小结	144
附录 A Excerpts from PublishSubscribeRouter. dnl	145
附录 B Excerpts from Agent. dnl	147
参考文献	149
第 11 章 基于兴趣关注的信息交换:映射与模型	150
11.1 背景	150
11.1.1 汽车购买中的信息框架应用实例	151
11.2 网络数据收集里的应用	154
11.2.1 网络流量数据表示	154
11.3 映射方法	157
11.3.1 多方面映射	160
11.4 交换 XML 的 DEVS 模型	161
11.4.1 生成 XML 文件的模型	161
11.4.2 用 DEVS 模型描述基于系统实体结构的 XML 映射	163
11.4.3 主系统实体结构到基于兴趣关注的系统 实体结构的映射	165
11.4.4 交换相同 XML 的模型	166
11.5 本章小结	168
附录 系统实体结构实例	169
参考文献	170
第 12 章 构建 DEVS 模型的语言	171
12.1 原子模型的受限自然语言规格说明	172
12.1.1 FDDEVS 模型的局限性	173
12.1.2 FDDEVS 增强设施	174
12.1.3 增强设施的开发优势	176
12.2 分层耦合模型的受限自然语言规格说明	176
12.3 DEVS 和 UML	178
12.4 本章小结	179
附录 FDDEVS 的形式化定义	179
参考文献	182

第Ⅲ篇 应用

第 13 章 柔性建模的支撑环境	187
13.1 通过开发过程支持多路径	187
13.2 SOA(面向服务架构)中作为服务的建模仿真工具	191
13.3 实例研究：分体式卫星系统	192
13.3.1 建模仿真支撑环境如何适应各类利益相关方	193
13.3.2 系统实体结构：MSE 柔性的关键支撑	195
13.3.3 建模仿真支撑环境的实现：面向服务架构	196
13.3.4 建模仿真支撑环境的仿真服务	198
13.3.5 使用 Web 服务的仿真	200
13.4 建模仿真支撑环境操作：线程实例	201
13.5 本章小结	206
附录	207
参考文献	210
第 14 章 基于服务的软件系统	212
14.1 引言	213
14.2 基于服务的软件系统	213
14.3 面向服务的体系架构	215
14.4 SOA-DEVS 仿真建模	216
14.4.1 简单模型	217
14.4.2 复合模型	217
14.5 SOA-DEVS 模型组件	218
14.5.1 通用消息	219
14.5.2 简单服务	221
14.5.3 复合服务模型	223
14.6 仿真模型范例	225
14.7 动态结构 SOAD	230
14.7.1 代理-执行模型设计	232
14.7.2 扁平和分层模型组合	235

14.8 本章小结	238
14.9 练习	239
参考文献	239
第 15 章 云系统仿真建模	241
15.1 引言	241
15.2 软件/硬件协同设计	242
15.3 SOC-DEVS SW/HW 建模	243
15.3.1 软件服务系统模型	244
15.3.2 硬件系统模型	255
15.3.3 服务系统映射	257
15.4 面向服务的语音通信系统	260
15.4.1 基本度量	261
15.4.2 仿真参数估计	263
15.4.3 实验设置和执行	264
15.4.4 实例仿真结果	264
15.5 本章小结	267
参考文献	267
第 16 章 体系模型库	269
16.1 引言	269
16.2 逻辑化、可视化和持久化建模的统一	271
16.2.1 简单的网络病毒模型	272
16.2.2 模板、模板实例和实例模型的类型	272
16.2.3 仿真和非仿真类型的模型	275
16.2.4 逻辑模型	276
16.2.5 可视化模型	277
16.2.6 持久化模型	278
16.2.7 模型命名空间	280
16.3 CoSMoS 进程生命周期	280
16.4 CoSMoS 云建模	285
16.4.1 硬件模型	285
16.4.2 软件模型	286

16.4.3	软件(服务)系统映射模型	287
16.4.4	模型约束	288
16.5	本章小结	289
	参考文献	290
第 17 章	基于体系的生命系统建模与仿真	291
17.1	生命系统建模与仿真中的挑战	292
17.2	DEVS 和 VLE 为何适用于生命系统建模和仿真	293
17.2.1	系统方法：涌现与规模转换	293
17.2.2	异构形式和生命系统复杂性	294
17.2.3	VLE 和试验计划	295
17.3	动物流行病的监测和控制	296
17.3.1	动机和目标	296
17.3.2	模型描述	297
17.3.3	仿真结果	299
17.4	植物生长模型	301
17.4.1	动机和目标	301
17.4.2	Ecomeristem 模型	302
17.4.3	总体功能	303
17.4.4	拓扑	305
17.4.5	DEVS 的实现	306
17.4.6	验证	309
17.4.7	结论	310
17.5	生命系统的模型连续性	311
17.6	本章小结	311
	参考文献	313
第 18 章	基于活跃度的体系实现	315
18.1	能量与活跃度	315
18.2	体系原型构建	317
18.3	实验框架和定时需求	318
18.4	体系模型中的能量和活跃度	320
18.5	活跃度概念综述	321