

中国高校百部优秀专著文库

高层体系结构与 离散事件仿真

● 薛朝改 曹海旺 著

中国戏剧出版社

高层体系结构与 离散事件仿真

薛朝

江苏工业学院图书馆
藏书章

中国戏剧出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高层体系结构与离散事件仿真 / 薛朝改 曹海旺 著.
—北京:中国戏剧出版社,2006.8

ISBN 7—104—02205—8

I. 高… II. ①薛… ②曹… III. 仿真系统—研究
IV. F127.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 018538 号

书 名: 高层体系结构与离散事件仿真

责任编辑: 王媛媛

封面设计: 张玉霞

出版发行: 中国戏剧出版社

社 址: 北京市海淀区紫竹院路 116 号
嘉豪国际中心 A 座 10 层

邮政编码: 100089

印 刷: 北京忠信诚胶印厂

开 本: 880mm×1230mm 1/32

印 张: 11

字 数: 275 千字

印 数: 2000 册

版 次: 2006 年 8 月北京第 1 版

印 次: 2006 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7—104—02205—8/C·235

全套定价: 150.00 元 (本册定价: 26.00 元)

版权所有 违者必究

前 言

近年来，随着计算机、网络技术、软件工程、自动控制等多项高新技术的发展，仿真技术的应用得到了有力的支持。系统建模与仿真技术的发展已经渗透到各行各业，特别是在社会经济系统、环境生态系统、能源系统、生物医学系统、教育训练系统等方面得到了广泛深入的应用。系统仿真已经发展为广大工程人员和管理人员需要学习掌握的一项专门技术，成为各种各样的系统分析、战略研究、运筹规划和预测决策的一个强有力工具。

随着现代高新技术，特别是信息技术、电子技术的迅猛发展，军事领域的作战形态正在发生着深刻的变化，分布式仿真技术由于其有效性、可重复性、经济性和安全性等优点而倍受世界各国军事部门的重视。美国国防部提出的高层体系结构HLA（High Level Architecture）代表着当今分布式仿真技术的主流，并已经成为分布式仿真领域的标准。基于HLA的分布式仿真技术对于面向战争综合演练场，支持大范围、多军种、多层次的大规模协同作战模拟，新武器装备的研制和试验，战术战法的评估等关键问题都具有非常重要的意义。

离散事件动态系统DEDS（Distributed Event Dynamic System）是指受事件驱动的，系统状态仅在离散的时间点上发生变

化的系统，这些离散的时间点往往是随机的，具有复杂的变化关系，难以用常规的微分方程、差分方程等模型描述。例如交通管理、自动生产线、计算机网络、通信系统等都是离散事件系统。如何对该类复杂系统进行控制与优化，是具有挑战性的问题。

本书综合介绍了高层体系结构与离散事件动态系统的仿真，内容全面，结构合理，可以作为控制工程、系统工程、计算机科学、工业工程、管理科学等专业高年级本科生及硕士生的相关课程的参考用书，对于从事建模与仿真工作的专业技术人员，本书也是一本很好的参考书。

全书共分 8 章：第一章概述，介绍仿真系统的相关概念，以及仿真系统的发展过程、应用领域和发展趋势。第二章分布式交互仿真 (DIS)，介绍 DIS 的产生、发展、结构原理及应用。第三章高层体系结构仿真 (HLA)，阐述 HLA 的产生、发展、组成及应用。第四章离散事件系统，主要讲解离散事件系统的概念及常用的建模方法。第五章时间管理，介绍仿真系统时间管理的具体方法。第六章数据收集，介绍仿真系统数据收集的概念，以及 DIS 与 HLA 仿真系统的数据收集与分析的具体方法。第七章校核、验证与确认 (VVA)，阐述 VVA 的概念、方法与结构。第八章设计与应用，阐述了常用的仿真系统开发与设计方法，并给出相关的仿真系统开发实例。

本书第一、四、七章由薛朝改撰写，第五、六、八章由曹海旺撰写，第二章由窦迅撰写，第三章由云桓撰写，全书由薛朝改统稿。本书的出版受到郑州大学博士科研启动经费的资助。

由于作者水平有限，书中某些内容恐有不妥之处，恳请读者予以指正。

目 录

第一章 现代仿真系统概述

- 1.1 系统概述 [1]
 - 1.1.1 系统的基本概念 [2]
 - 1.1.2 系统的相关术语 [3]
 - 1.1.3 系统的分类 [4]
- 1.2 系统仿真概述 [5]
 - 1.2.1 系统仿真的分类 [5]
 - 1.2.2 系统仿真的工作流程 [6]
- 1.3 系统仿真的发展过程 [7]
- 1.4 系统仿真的发展趋势 [12]
- 1.5 本章小结 [15]
- 参考文献 [15]

第二章 分布式交互仿真

- 2.1 DIS 的产生 [19]
- 2.2 DIS 的发展 [21]

- 2.3 DIS 系统的设计原则与关键技术 [23]
- 2.4 DIS 的体系结构 [26]
 - 2.4.1 DIS 的组成 [26]
 - 2.4.2 DIS 的标准 [28]
 - 2.4.3 协议数据单元(PDU) [29]
- 2.5 DIS 系统管理技术 [32]
- 2.6 DIS 的应用实例 [34]
 - 2.6.1 分布交互仿真系统的需求设计 [34]
 - 2.6.2 系统组成与开发环境 [36]
 - 2.6.3 系统采用的仿真策略 [38]
- 2.7 本章小结 [40]
- 参考文献 [41]

第三章 高层体系结构仿真

- 3.1 现有仿真技术的不足 [43]
- 3.2 HLA 的产生 [45]
- 3.3 HLA 的特点 [47]
- 3.4 HLA 的发展现状 [47]
- 3.5 HLA 与 DIS 的区别 [49]
- 3.6 HLA 的组成 [51]
 - 3.6.1 对象模型模板(OMT) [53]
 - 3.6.2 接口规范说明 [55]
 - 3.6.3 HLA 规则 [59]
- 3.7 基于 HLA 的仿真应用实例 [61]
 - 3.7.1 基于 HLA 的水声对抗仿真系统设计 [62]

3.7.2 关键技术 [65]

3.7.3 水声对抗仿真系统效果 [68]

3.8 本章小结 [69]

参考文献 [69]

第四章 离散事件系统建模

4.1 概述 [71]

4.1.1 离散事件系统与模型 [71]

4.1.2 离散事件系统建模的过程 [74]

4.1.3 常用的系统建模方法 [75]

4.1.4 离散事件系统仿真模型 [77]

4.1.5 离散事件系统仿真策略 [79]

4.2 离散事件系统建模方法简介 [80]

4.2.1 基于 Petri 网的建模 [81]

4.2.2 活动循环图法和实体流图法 [86]

4.2.3 排队系统 [90]

4.2.4 库存系统 [94]

4.2.5 决策系统建模方法 [99]

4.2.6 面向对象的仿真建模 [106]

4.2.7 统一建模语言 UML [110]

4.2.8 基于 Agent 的建模 [119]

4.2.9 基于 IDEF 的建模 [126]

4.3 基于对象 Petri 网的水下对抗系统建模 [130]

4.3.1 概述 [130]

4.3.2 基于对象 Petri 网建模 [131]

4.4 本章小结 [142]

参考文献 [143]

第五章 仿真系统的时间管理

- 5.1 时间管理的概述 [145]
- 5.2 并行离散事件系统的时间管理 [150]
 - 5.2.1 概述 [150]
 - 5.2.2 PDES 的研究 [151]
 - 5.2.3 保守算法 [152]
 - 5.2.4 乐观机制算法 [153]
- 5.3 HLA 中的时间管理 [158]
 - 5.3.1 时间管理的基本概念 [158]
 - 5.3.2 仿真中的时间 [159]
 - 5.3.3 时间管理的术语及定义 [159]
 - 5.3.4 消息排序 [160]
 - 5.3.5 传输服务 [161]
 - 5.3.6 HLA 时间推进 [162]
- 5.4 前瞻量(Lookahead) [167]
 - 5.4.1 产生背景 [167]
 - 5.4.2 前瞻量的形式化表示 [171]
 - 5.4.3 前瞻量的设置 [174]
 - 5.4.4 更改前瞻量服务 [177]
 - 5.4.5 保守邦元前瞻量的动态调整 [180]
- 5.6 最大可用逻辑时间的计算 [182]
 - 5.6.1 基本概念 [182]
 - 5.6.2 早期算法 [185]
 - 5.6.3 Frederick 算法与改进 [190]
 - 5.6.4 时间管理策略对 GALT 计算的影响 [193]

- 5.7 仿真系统时间管理参数优化 [193]
 - 5.7.1 时间管理参数优化概述 [193]
 - 5.7.2 时间管理参数优化的性能指标 [194]
 - 5.7.3 时间管理参数优化模型 [194]
 - 5.7.4 参数优化结果 [196]
 - 5.7.5 参数优化的应用 [197]
- 5.8 小结 [199]
- 参考文献 [199]

第六章 仿真系统的数据收集

- 6.1 仿真系统数据收集的概念 [202]
 - 6.1.1 仿真系统数据收集的产生 [202]
 - 6.1.2 仿真数据收集的研究与发展 [203]
- 6.2 DIS 数据收集 [205]
- 6.3 HLA 数据收集分析 [207]
 - 6.3.1 数据收集的内容 [208]
 - 6.3.2 HLA 数据收集的困难及措施 [209]
 - 6.3.3 数据收集的实现方式 [212]
 - 6.3.4 数据收集的分类 [214]
 - 6.3.5 仿真数据收集的存储方式 [215]
 - 6.3.6 仿真数据收集的原则 [216]
- 6.5 DIS 与 HLA 数据收集的区别 [217]
- 6.6 面向对象分层数据收集 [219]
 - 6.6.1 分层数据收集的提出 [219]
 - 6.6.2 数据收集的分层 [220]
 - 6.6.3 数据收集集中的对象 [221]

- 6.6.4 各层之间的通信 [222]
- 6.6.5 分层数据收集的应用 [223]
- 6.7 本章小结 [224]
- 参考文献 [225]

第七章 仿真系统的校核、验证与确认

- 7.1 仿真系统校核、验证与确认的概念 [228]
 - 7.1.1 VVA 的发展 [228]
 - 7.1.2 VVA 的概念 [232]
 - 7.1.3 VVA 的原则 [233]
 - 7.1.4 VVA 的过程 [236]
 - 7.1.5 VVA 与 M&S 的关系 [237]
 - 7.1.6 VVA 的研究现状与发展趋势 [239]
- 7.2 VVA 方法简介 [242]
 - 7.2.1 模型校核的方法 [243]
 - 7.2.2 模型验证的方法 [244]
 - 7.2.3 系统仿真精度和置信度 [245]
- 7.3 常用 VVA 方法理论分析 [246]
 - 7.3.1 专家经验评估法 [247]
 - 7.3.2 系统分解法 [247]
 - 7.3.3 灵敏度分析法 [248]
 - 7.3.4 参数估计法 [249]
 - 7.3.5 假设检验法 [250]
 - 7.3.6 动态关联分析法 [254]
 - 7.3.7 频谱分析法 [256]
- 7.4 VVA 体系结构 [257]
 - 7.4.1 VVA—GOS 的总体框架 [258]

- 7.4.2 VVA-GOS 的方法 [260]
- 7.4.3 VVA-GOS 体系结构的特点 [262]
- 7.4.4 VVA-GOS 的支撑平台 [262]
- 7.5 智能 VVA 平台初探 [266]
 - 7.5.1 IVVAP 的结构 [267]
 - 7.5.2 IVVAP 的特点 [269]
 - 7.5.3 IVVAP 的应用 [270]
- 7.6 VVA 应用实例 [273]
 - 7.6.1 水声对抗仿真系统简介 [273]
 - 7.6.2 水声对抗仿真系统 VVA 的特点 [274]
 - 7.6.3 水声对抗仿真系统 VVA [275]
- 7.7 本章小结 [277]
- 参考文献 [278]

第八章 仿真系统的设计与应用

- 8.1 仿真系统构建过程的复杂性 [281]
 - 8.1.1 仿真系统构建的复杂性 [281]
 - 8.1.2 仿真系统构建的综合性 [283]
- 8.2 仿真系统的生命周期 [284]
 - 8.2.1 系统规划 [285]
 - 8.2.2 系统分析 [287]
 - 8.2.3 系统设计 [287]
 - 8.2.4 系统实施 [289]
 - 8.2.5 系统运行和维护 [292]
 - 8.2.6 系统构建时注意的问题 [292]
- 8.3 常用系统开发方法概述 [293]
 - 8.3.1 早期系统开发方法的不足 [293]

8.3.2	结构化方法	[295]
8.3.3	原型法	[299]
8.3.4	面向对象法	[299]
8.4	典型仿真系统构建	[300]
8.4.1	概述	[301]
8.4.2	典型仿真系统的组成	[301]
8.4.3	制导仿真系统的总体设计	[305]
8.5	一体化水下对抗仿真系统的设计与应用	[310]
8.5.1	一体化水下对抗仿真环境功能分析	[311]
8.5.2	水下对抗一体化仿真环境设计	[313]
8.5.3	仿真软件流程	[316]
8.5.4	实用功能设计	[317]
8.5.5	关键技术	[325]
8.5.6	仿真环境的应用	[326]
8.6	本章小结	[328]
	参考文献	[328]

第一章 现代仿真系统概述

系统仿真是近年来随着计算机技术的研究与应用而发展起来的新兴学科。仿真通过建立实际系统模型，并利用所建立的模型对实际系统进行实验研究。仿真技术从最初应用于航空航天、原子反应堆等代价高昂、周期长、危险性大的系统试验，直至逐步应用于社会系统、经济系统、运输系统等非工程领域。现代仿真技术和综合仿真系统已经成为复杂系统特别是高技术产业（尤其是在军事领域）的分析、研究、设计、评价、决策及应用的重要手段，已经引起世界各国的广泛重视。本章介绍系统仿真的概念、发展及应用。

1.1 系统概述

系统的概念可以追溯到古希腊，原子论的创始人德谟克利特（Democritus）就明确阐述了系统的含义，他认为任何事物都是在联系中体现，都在系统中存在，系统联系着每一事物，而每一联系又反映系统的总貌。伟大的学者亚理士多德（Aristoteles）也提出了系统整体性、目的性、组织性的观点，以

及事物相互关系的思想，是古代关于系统的一种朴素概念。我国古代著名思想家老子也曾阐明自然界的统一性，他用朴素的唯物主义哲学描述了对自然界的整体性和统一性的认识。随后在西周、东汉以及北魏时期都不断提出关于系统的认识。因此系统的概念来源于人类长期的实践活动，是社会实践和科学的总结。然而，古代科学技术不发达，对系统的认识也是分散的，不深刻的。古代朴素唯物主义哲学虽然强调对自然界整体性、统一性的认识，但缺乏对整体各个细节的认识，对整体性和统一性的认识也不完全。19 世纪以来，自然科学取得了伟大成就，特别是能量守恒、进化论等的发现，使人类对自然过程相互联系的认识有了很大提高。辩证唯物主义认为，物质世界是由无数相互联系，相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程所形成的统一整体，这也是系统概念的实质。

1.1.1 系统的基本概念

为了能够全面、正确地理解系统仿真，首先需要了解系统仿真研究的对象。

系统是指具有某些特定功能、按照某些规律结合起来、相互作用、相互依存的所有物体的集合或者综合。系统可能是自然的或者人工的、现存的、或者未来计划的。系统是可以分解的，一个系统可以是一个更大系统的组成部分，而且它本身还可以包含若干个子系统。因此系统是有层次的，且有它的层次结构、规模、环境与功能。

系统的基本特征有：整体性、相关性、目的性和功能性、环境适应性、动态性和有序性。

(1) 整体性。系统是一个整体，各个部分是不可分割的。

系统不是各个部分的简单组合，而是有统一性和整体性。

(2) 相关性。系统内部各物体之间有一定的联系，这些特定的联系就形成了特定性能的系统。

(3) 目的性和功能性。大多数系统的活动或者行为可以完成一定的功能，但不是所有的系统都有目的，例如太阳系。

(4) 环境适应性。系统和它的环境之间通常都有物质、能量和信息的交互，外界环境的变化会引起系统特性的改变，相应地会引起系统内各个部分相互关系和功能的变化。为了保持系统原有特性，系统必须具有适应环境的能力。

(5) 动态性。系统具有生命周期，它的内部结构也可以随着时间变化。因此，系统是一个有方向性的动态过程。

(6) 有序性。由于系统的结构、功能和层次的动态演变具有方向性，因而系统是有序的。

1.1.2 系统的相关术语

任何系统都包括三个方面的研究内容，即实体、属性和活动等。实体是存在于系统中的每一项确定的物体；属性是实体所具有的有效特征；而活动则是导致系统状态发生变化的过程。

与系统相关的常用术语如下：

(1) 系统环境：影响系统而又不受系统控制的全部外界因素的集合；

(2) 系统边界：为了限制研究问题的范围，一般用系统边界把所研究的系统和系统环境进行区分；

(3) 内生活活动：系统内部发生的活动；

(4) 外生活活动：在系统环境中发生的对系统有影响的活动；

(5) 封闭系统：没有外生活活动的系统；

(6) 开放系统：含有外生活活动的系统；

(7) 大系统、复杂系统：规模庞大、功能、结构复杂，交互信息多的系统。

1.1.3 系统的分类

根据不同的分类方法，可以将系统分成如下几类：

(1) 自然系统和人造系统

原始的系统都是自然系统，例如海洋、生态系统等。人造系统都是存在于自然系统之中，例如机器设备、生产制造系统等。两者互相影响和渗透，近年来，人造系统对自然系统的影响成为了人类关注的重要问题，例如环境污染等。

(2) 实体系统和抽象系统

实体系统是以物理状态的存在作为组成要素的系统，例如生产部门的机械设备等。而抽象系统是由概念、原理、假说、方法、计划等非物质实体组成的系统，如管理系统、文化系统等。

(3) 静态系统和动态系统

静态系统是在宏观上没有活动部分的结构系统或者相对静止的结构系统，例如，道路、铁路等。而动态系统是既有静态实体又有活动部分的系统。例如，大学就是一个动态系统，不仅有建筑物，还有人员。系统的动态性是绝对的，而静态是相对的。

(4) 开放系统和封闭系统

开放系统是在系统边界上与环境有信息、物质和能量交互作用的系统，例如生产系统、市场等都是开放系统。而封闭系统是一个与外界无明显联系的系统，环境仅仅提供一个边界，不管外部环境如何变化，系统仍表现为内部稳定的均衡特性。