

JIZHUANGXIANG DUICHANG WULIU XITONG MONI

集装箱堆场物流系统模拟

李向文 林国顺 著



大连海事大学出版社

集装箱堆场物流系统模拟

李向文 林国顺 著

大连海事大学出版社

©李向文 林国顺 2014

图书在版编目 (CIP) 数据

集装箱堆场物流系统模拟 / 李向文, 林国顺著. —大连:
大连海事大学出版社, 2014. 6

ISBN 978-7-5632-3015-0

I. ①集… II. ②李… ②林… III. ①集装箱运输—物资
管理—系统仿真 IV. ①U695.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 106096 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌海路 1 号 邮编: 116026 电话: 0411-84728394 传真: 0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连美跃彩色印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2014 年 6 月第 1 版 2014 年 6 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 140 mm×203 mm 印张: 6.75

字数: 164 千 印数: 1~1000 册

出版人: 徐华东

责任编辑: 姜建军 宋彩霞 责任校对: 何 乔

封面设计: 王 艳 版式设计: 解瑶瑶

ISBN 978-7-5632-3015-0 定价: 21.00 元

前言

集装箱物流系统的复杂度令人生畏，对象繁杂：生产商、供应商、贸易商、港口、集装箱场站、客户、仓储、订单、地图、定位信息；运筹学难解问题层出不穷、复杂多变：集装箱场站与配送中心选址、集装箱多模式运输、车辆安排与路径优化、生产计划与排程，用运筹学的建模方法、计算机语言编程研究和物流的优化问题困难重重，而且效率较低。用系统模拟的方法研究运筹学算法及对物流优化问题进行求解，更上一层楼地将求解系统平台化，建立工具一级的开发平台解决方案是科学、可行的技术路线。

离散系统仿真优化、集装箱物流系统模拟是一门不断发展、富有挑战和变化的激动人心的学科，物流系统优化是物流过程与管理学科及专业提高教学水平和提升人才培养档次的一个具有开拓性的研究方向。一本优秀的物流系统模拟著作既要能够引领初学者步入物流科学的殿堂，流连忘返，又要能够激励学习者努力探求未知，回味无穷。这就要求著作既能寓基本原理于其中，又能紧跟物流学科前沿；既紧密结合物流实践的现实，又有助于培养物流系统思维和物流优化技能。模拟又称仿真，是利用数学模型在计算机上进行系统试验的一种高级应用技术。Simulation 被国内学者翻译为“模拟”或“仿真”，二者又有一些区别，仿真多指除计算机外，还有一些其他的仿真设备，构造一种具有真实感的虚拟环境，使操作者有一种亲临其境的感觉，主要应用于军事、航空、航天领域，其模型以连续和混合型为主；而模拟主要是离散模型，在计算机屏幕上模拟真实系

统的发生过程，辅助进行系统分析和系统设计。

交通运输、集装箱物流是模拟的一个主要应用领域，多年来大连海事大学科研工作者做出了许多具有巨大价值的研究贡献，例如航海模拟器、轮机模拟器，本书又集成了作者近年来在交通物流领域的研究成果，并吸收了其他科研人员公开发表的有关交通物流模拟理论和应用的学术文献。同时本书也深入浅出地介绍了模拟研究的有关知识，本书将系统模拟理论与方法应用于集装箱物流系统，最终实现智能决策。希望本书能对模拟研究感兴趣的同行和有志于此的年轻人有所帮助。

本著作可作为高等院校物流工程与物流管理、交通运输、航运管理及其相关专业大学本科生和研究生的教材，也可作为企业和社会培训人员的参考书籍，还可供那些已经从事集装箱物流技术或管理工作，又想使自己的工作更有成效的专业人员参考。本书的许多看法，也是一家之言，其中的模型和仿真系统还有待于实践的进一步验证，欢迎读者批评指教。

作者

2013年9月

目 录

第 1 章	系统模拟概论	1
1.1	系统模拟——最先进的 IT 技术与现代管理方法的完美结合	1
1.2	系统模拟基本要素	3
1.2.1	系统的概念	3
1.2.2	系统模拟的术语	5
1.3	最佳停时理论——博弈中的科学	7
1.4	系统模拟模型	11
1.4.1	系统模型	11
1.4.2	系统模拟的类型	13
1.4.3	系统模型的结构	15
1.4.4	系统模拟的定义和作用	17
1.5	简单问题的人工模拟	19
1.6	系统模拟的原则和步骤	21
1.6.1	系统模型建立的原则	21
1.6.2	系统模拟的步骤	24
第 2 章	模拟系统中的随机模型	29
2.1	醉汉行走——随机模型的建立	29
2.2	均匀分布随机数的产生	31
2.2.1	平方取中法 (Mid-square Method)	33
2.2.2	斐波那契 (Fibonacci) 法	35
2.2.3	取小数法	35

2.2.4	线性同余法(Linear Congruential Method).....	37
2.2.5	组合发生器	40
2.3	连续分布随机数的产生	40
2.3.1	逆转换法	41
2.3.2	函数变换法	42
2.3.3	剔除法	43
2.3.4	近似法	44
2.3.5	几种常用连续分布随机数的产生	45
2.4	离散分布随机数的产生	47
2.4.1	一般方法	47
2.4.2	几种常用离散分布随机数的产生	47
第 3 章	随机模型检验	50
3.1	假设检验的一般提法	51
3.2	参数检验	53
3.2.1	正态总体方差 σ^2 已知, 检验假设 $H_0: \mu=\mu_0$	53
3.2.2	正态总体方差 σ^2 未知, 检验假设 $H_0: \mu=\mu_0$	53
3.2.3	正态总体方差检验	54
3.2.4	均匀分布随机数检验	56
3.3	分布拟合检验	58
3.4	游程检验法	61
第 4 章	物流系统中的模拟建模问题	65
4.1	物流系统	65
4.1.1	物流系统的概念	65
4.1.2	物流系统的特征	66
4.1.3	物流系统服务	67
4.1.4	物流系统中存在的制约关系	68
4.1.5	物流系统的模式	69

4.1.6	物流系统化	70
4.2	物流系统分析	73
4.2.1	物流系统分析的概念	73
4.2.2	系统分析的特点	74
4.2.3	系统分析的方法	75
4.2.4	物流系统分析的应用范围	76
4.2.5	系统模拟	77
4.3	物流信息系统及其特点	78
4.3.1	物流信息系统的主要工作	78
4.3.2	物流信息系统的层次结构	80
4.3.3	物流信息网络	81
4.3.4	物流信息系统的类型	83
4.3.5	物流信息系统中的决策支持与优化问题	85
4.4	物流系统中的建模问题	90
4.4.1	物流系统建模方法分类	90
4.4.2	物流系统建模在集装箱场站管理系统中的应用	91
4.5	集装箱码头堆场与后方场站管理系统中的模拟建模问题	94
4.5.1	集装箱码头堆场与后方场站管理中模拟建模问题	94
4.5.2	研究内容	96
4.5.3	研究目标	98
4.5.4	研究方法	98
4.5.5	系统优化模拟建模技术方案	99
4.5.6	技术创新与进一步研究方向	99
4.6	离散事件系统仿真在库存系统中的应用	100

4.6.1	库存系统的离散特性	100
4.6.2	离散事件系统仿真在库存系统中的应用	101
4.6.3	库存系统的仿真模型	103
4.6.4	编辑程序, 运行仿真模型, 得出仿真结果	105
4.6.5	应用实例	105
第 5 章	进场箱到达模型分析	108
5.1	集装箱到达独立性检验	108
5.1.1	游程检验法简介	108
5.1.2	集装箱到达独立性检验	109
5.2	进场箱到达模型假设检验	114
5.2.1	分布拟合检验简介	114
5.2.2	进场箱到达模型假设检验	116
5.3	集装箱进场模拟策略	119
5.3.1	基于活动扫描策略的集装箱进场流程描述	120
5.3.2	基于事件扫描策略的集装箱进场流程描述	121
第 6 章	进场箱箱位分配智能算法设计	124
6.1	箱位分配智能模型设计	124
6.2	进场箱箱位规划原则	126
6.3	集装箱堆场知识表示	128
6.3.1	集装箱分类知识表示	128
6.3.2	堆场作业知识表示	129
6.4	基于模式识别的箱位分配智能推理机制	131
6.4.1	进箱贝的选择	133
6.4.2	堆场贝模式分析	133
第 7 章	出场箱提箱优化策略设计	137
7.1	出场箱出场模型描述	137
7.2	出场箱出场模拟策略	138

7.2.1	基于活动扫描策略的集装箱出场流程描述	138
7.2.2	基于事件扫描策略的集装箱出场流程描述	141
7.3	具有自适应性的提箱优化策略设计	142
第 8 章	集装箱堆场智能模拟系统实现	146
8.1	初始化系统模型及实现	147
8.1.1	初始化模型假设及参数说明	147
8.1.2	初始箱产生	147
8.2	进出场作业模拟及模型评估	150
第 9 章	集装箱后方堆场机械调度模拟系统模型	157
9.1	集装箱后方堆场机械调度模拟系统逻辑模型	157
9.1.1	系统的概念	157
9.1.2	建立系统模型前的假设	158
9.1.3	逻辑模型的建立	159
9.1.4	各 Agent 的内部结构	160
9.1.5	后方堆场作业调度机制	167
9.2	模型规则	169
9.2.1	建模环境的描述	169
9.2.2	机械的作业规则	170
9.2.3	机械的移动与作业时间的制订规则	171
9.3	简单的自学习系统	172
9.4	模型中的通信交互机制	173
第 10 章	基于机械调度的物流模拟系统	177
10.1	系统功能设计	177
10.1.1	系统总体设计	177
10.1.2	主要功能模块描述	178
10.1.3	各类 Agent 的实现	180
10.1.4	Agent 主控程序流程设计	182

10.2 系统的数据库及知识库设计	184
10.2.1 系统数据库实现	184
10.2.2 知识库设计	185
10.3 实例运行	187
10.3.1 系统运行所需的软硬件环境	187
10.3.2 模拟系统的运行与模拟结果输出分析	188
10.3.3 结果分析	195
参考文献	197

第1章

系统模拟概论

1.1 系统模拟——最先进的 IT 技术与现代管理方法的完美结合

“模拟”(simulation)已成为人们逐渐熟悉的概念和用语。概括来说,模拟是把某一现实的或抽象的系统的状态和特征,用另一个称为模型的系统来代替或模仿。例如,一个作战指挥系统可用一个沙盘来直观代替,一个生物系统可用一个数学模型来描述,一个管理系统可用一个计算机程序来模仿等等。总之,人们利用构造的模型来做试验,去学习、研究和分析一个原有的系统,或用来设计一个新的系统。在模型上做的试验称为模型试验,所构造的模型称为模拟模型。

相对于“模拟”一词,人们对“蒙特卡洛”可能会感到一些惊讶。事实上,“蒙特卡洛”(Monte Carlo)是摩纳哥王国的一个世界著名赌城。第二次世界大战期间,冯·诺依曼(Von Neumann)和乌拉姆(Ulam)两人把他们所从事的研究原子弹的工作,用赌城蒙特卡洛作为代号来秘密称呼,他们的具体工作是对裂变物质的中子随机扩散进行直接模拟。用赌城名字来比喻随机模拟,既风趣又贴切,很快得到人们的普遍赞许和接受。具体地说,蒙特卡洛方法属于试验数学的一个分支,它利用随机数进行统计试验,以求得的数学期望值、方差等统计特征值作为待解决问题的数值解,这种统

计试验称为蒙特卡洛模拟。由此可见，模拟与应用统计数学两者紧密相关。人们把冯·诺依曼进行的工作看作是系统模拟现代概念的起源。

电子计算机的出现，为系统模拟提供了强有力的工具。人们通过在计算机上建立数学模型，进行模拟试验，从而大大推动了模拟和应用统计学的发展，同时，电子计算机的产生和发展同样受到模拟方法的巨大推动。事实上，世界上第一台数字电子计算机 ENIAC 就是用来解决弹道轨迹模拟计算问题的。与此同时，用机电器件组成模拟电路而建成的第一代模拟电子计算机，也是用来模拟飞机和导弹的飞行。数字电子计算机用来进行蒙特卡洛方法试验，即数值仿真。模拟或仿真的英文单词均是 Simulation，而利用电路的电压幅值变化进行连续系统实时仿真的计算机称为模拟电子计算机，其对应的英文单词是 Analog Computer。本书所涉及的内容指的是管理系统模拟，而不是模拟电子计算机的模拟。

1927 年，Vanevar Bush 在麻省理工学院着手研制第一台机械的通用微分模拟分析器，此后 20 年里，开发了加法辅助机器。机械的微分分析器能进行数学运算，并能以相当的精确度求解微分方程，但速度很慢。专用电子模拟计算机在二战期间广泛应用于消防、飞机自动导航、航海等领域，这时制造了许多电子模拟计算机，它们的结构以 Typhoon 的设计最为著名。早期的模拟计算机体积庞大，且不很可靠，它们的计算能力是有限的，必须对相对大的系统的数学模型进行简化，才能使问题有效地适应计算机。

20 世纪 50 年代开始进入了模拟电子计算机的“黄金时代”，但很快数字电子计算机取得了惊人的发展，其精度高、逻辑运算能力强、数据存储量大、使用灵活等优点使模拟计算机相形见绌。在软件方面，FORTRAN 一类面向用户的程序语言，使用户更容易编制计算机程序进行更多领域的模拟，如随机服务系统等。因

此, 20 世纪 50 年代到 60 年代, 将模拟电子计算机与数字电子计算机融为一体的混合计算机在模拟领域中被广泛采用, 但很快又被后者取代。

20 世纪 70 年代以来, 随着大规模集成电路技术的发展, 数字电子计算机价格越来越低, 运算速度越来越快。尤其是大型通用计算机“超级电脑”(Super Computer), 如 CRAY-1、STAR-100、FujitsuVP200, 以及日立公司的 S810, 有关报告指出, 它们的运算能力大约在每秒 4 亿次^[1]。由于各种实用的专门用于数字电子计算机模拟的程序设计语言不断出现和完善, 这一时期, 绝大多数的模拟应用领域都使用数字电子计算机。尤其值得提出的是, 微型计算机的出现为计算机模拟提供了更方便、更廉价的有力工具。

近 30 年来, 随着管理科学、系统工程、现代数学和计算机的长足发展, 系统模拟在工业发达国家得到了日益广泛的应用。无论在模拟模型、理论分析、软件开发与推广应用等方面都进展很快。自 20 世纪 70 年代末期以来, 我国开展了系统模拟的研究和应用, 尤其在管理系统模拟方面, 如交通运输、采矿作业、作战指挥、城市规划等取得了可喜的成果。本书将以港口集装箱运输为主要应用背景, 介绍计算机模拟在物流领域的最新理论与应用。

1.2 系统模拟基本要素

1.2.1 系统的概念

系统是由多个相互依赖、相互作用、共同配合实现预定功能的要素组成的有机集合体。这里所说的要素, 可以是自然、物理形态的, 也可以是社会、管理形态的。本书研究的管理系统就是

履行特定管理功能的诸要素的有机整体。关于系统的特征，我们归纳如下。

(1) 整体性。一个系统是由两个或两个以上的有效工作环节（或子系统）组合而成的。这些组成部分虽然具有一定的相对独立性，但是更重要的是，它们是根据逻辑统一性要求，相互联系构成一个有机整体。

(2) 关联性。要使一个系统有效地履行其功能，它的各个子系统之间必然相互联系和相互作用，存在着一定的逻辑关系。

(3) 目的性。系统履行其特定的功能，实现既定的目标。一个企业管理系统的基本功能就是合理地组织企业的各种要素（人员、物资、资金、信息），减少劳动消耗量和资金占有量，努力提高经济效益，提供满足社会需要的产品或服务。

(4) 环境适应性。任何系统都有一定的边界和环境，它与周围的外部环境有着一定的联系并且相互作用。从环境接受各种影响（包括正常输入以及干扰），经过系统的转换，产生一定的输出，从而对外部环境产生影响。外部环境及其影响是经常变化的，为了使系统达到优化，必须对系统进行相应的调节，使之适应环境的变化。

组成系统的要素，我们称之为实体，而实体则用属性进行定义。例如，为研究集装箱码头装卸效率，我们定义一个集装箱码头装卸系统。该系统描述见表 1-1。对应系统内部的实体，需要定义它们之间的关系，如泊位与船舶的关系可能包括可以同时靠泊的船舶数量、泊位与船舶的相互选择等。

表 1-1 集装箱码头装卸系统描述

实体	属性
泊位	长度、深度、费用
吊车	型号、装卸速度、吊高、吊重、费用
船舶	长度、吃水、装卸量、到达时刻、离去时刻

1.2.2 系统模拟的术语

在管理系统模拟当中，我们要用到许多基本的模拟术语，现在分别说明如下。

1.2.2.1 实体(entity)

一个系统边界内部的客观对象称为实体。实体可分为永久性实体和临时性实体。永久性实体是指经常处于系统之内，其数量保持相对稳定的实体，如一个排队服务系统内的服务员。临时性实体是指先进入系统并在经过相应环节以后再离开系统，在系统内的数量经常发生变化的实体，如一个排队服务系统内的顾客。

1.2.2.2 属性(attributes)

属性是指系统的实体的特性。从某种意义上说，管理系统模拟的任务就在于分析和研究系统实体及其属性的运动规律，评价系统的工作性能，从而辅助系统设计和决策。因而，正确确定模拟的实体及其属性是系统建模的重要组成部分。表 1-2 列举了一个生产计划系统的实体及属性。

表 1-2 一个生产计划系统的实体及属性

实体	属性
产品	类型、需求量、生产量、库存量、交货期、单价、工时定额
元件	类型、需求量、生产量、库存量、单价、工时定额
原材料	类型、需求量、库存量、订货点、订货批量、消耗定额
机器	类型、拥有量、作业时间、调整时间、役龄
工人	工种、组别、级别、数量、作业时间、工资、工龄

1.2.2.3 活动(activity)

活动是占用一定时间和资源的导致系统状态发生改变的一定过程。譬如，网络计划系统中的一项作业、流水生产线的一道工序等都属于一项活动。

1.2.2.4 系统状态(system state)

系统状态是指在某时间点对该系统的所有实体、属性和活动的描述。当一个系统的所有实体处于状态协调并且有定义状态的属性时，我们说该系统处于特定状态。

1.2.2.5 事件(event)

事件是引起系统状态发生瞬间变化的事实。它可以是一个实体的产生或消失、系统实体的属性值的改变或者一项活动的开始或结束。事件可以分为时间事件和状态事件。时间事件是指依照系统的作业规则在预定时间发生的事件，状态事件是当系统状态符合某种条件而发生的事件。

1.2.2.6 关于环境

(1) 存在于系统周围的对象和过程(实体和活动)称为系统的环境(environment)。

(2) 产生于系统内部的活动称为内生活动(endogenous activity)。

(3) 发生于环境并对系统产生影响的活动称为外生活动(exogenous activity)。

(4) 将活动划分为内生活动和外生活动就确定了系统的边界。

1.2.2.7 关于系统

(1) 没有外生活动的系统属于封闭系统；反之，具有外生活的系统属于开放系统。

(2) 连续系统的变量可以为预定区间集合中的任意实数值，即其系统状态呈光滑性变化。离散系统的变量只能为有限的特定值，即系统状态呈不连续变化。

(3) 一个系统的响应(输出)完全由它的初始状态和输入所决定则称之为确定性系统。一个系统在既定的初始状态和输入的情况下，其响应(输出)具有随机性，则称之为随机性系统。

1.2.2.8 模型验证(verification of model)

模型验证就是检验计算机模拟程序是否正确反映系统模型。