

DISCRETE-EVENT SYSTEM SIMULATION

离散事件 系统模拟

[美] Jerry Banks 著
John Carson

侯炳辉 张金水 译



清华大学出版社

73.825
656

离散事件系统模拟

〔美〕 J·彭克斯 J·卡森 著

侯炳辉 张金水 译

清华大学出版社

内 容 简 介

本书共4部分12章,包括:模拟概述;模拟的案例;离散事件模拟的一般原理及计算机模拟语言;模拟中的统计模型;排队模型;存储系统;随机数的产生;随机变量的产生;输入数据的分析;模拟的验证和确认;单个模型的输出分析;可供选择的各种系统设计方案的比较和评价。

本书是关于离散事件模拟的专著,内容新颖而系统,深入浅出,适合于经济管理、系统工程、计算机软件、自动化工程以及其它从事系统模拟的高等院校师生和系统分析者使用。

DL67/07

Discrete-event System Simulation
Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1984
Jerry Banks
John Carson

离散事件系统模拟
[美] J·彭克斯 J·卡森 著

侯炳辉 张金水 译

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

北京京辉印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

☆

开本: 787×1092 1/16 印张: 22.75 字数: 582千字

1988年3月第1版 1988年3月第1次印刷

印数: 0001—6000

定价: 3.80元

ISBN 7-302-00218-5/TP·86(课)

译者说明

本书是根据美国 1984 年出版的, 由 J·彭克斯和 J·卡森所著 “DISCRETE-EVENT SYSTEM SIMULATION” 一书翻译的。原书共 4 部分十二章。第一部分为离散事件模拟概述。包括: 模拟概述; 模拟的例子。离散事件模拟: 一般原理及计算机模拟语言; 共三章。第二部分为数学模型和统计模型。包括: 模拟中的统计模型; 排队模型; 存储系统; 共四章。第三部分为随机数字。包括: 随机数的产生; 随机变量的产生; 共二章。第四部分为模拟数据的分析。包括: 输入数据的分析; 模拟模型的验证和确认; 单个模型的输出分析; 可供选择的各种系统设计方案的比数和评价; 共四章。

本书前六章是由清华大学经济管理学院侯炳辉副教授翻译的, 后六章是由该院张金水同志翻译的, 全书经北京航空学院八系冯允成教授详细审校。

本书是在清华大学计算机科学与工程系卢开澄教授的建议与提供原书的基础上翻译的。

译者谨对冯允成教授、卢开澄教授致以深深的谢意。还对辛勤编辑此书的出版社编辑致以深深的谢意。

译者

1986.7.16 于清华园

前 言

离散事件模拟是当前使用的运筹学方法中最有用处的方法之一，本书目的在于讨论离散事件模拟的基本问题。从工程师、管理者、经济学家、或科学家那里所提出的系统进行模拟一般都要用到数字计算机。离散事件模拟能够在一个系统实际运行之前去评价它的运行性能；可在不干扰实际系统的情况下比较各种可供选择的运行方案之优劣；能在适当时间进行比较并及时作出决策。最后，由于它的结构易于理解并可使用计算机专用模拟语言，因此许多人都会使用它。

然而，模拟很容易使用不当，而且模拟结果看起来也令人可信。因此，恰当地收集并分析数据，可能时采用解析方法，模型的验证和确认，以及模拟实验的正确设计都是十分关键的，这些都在本书中予以广泛讨论。

具有微积分、概率论以及基础统计基本知识的读者都不难掌握本书的内容。书中没有定理和证明。然而，这无损于内容在统计和数学上的正确性。概率和统计上的许多论题在它们被引用于模拟教科书中之前都已认真地检查过。

我们认为最好通过案例来学习。因此，在介绍了新内容之后，总是给出与这些内容有关的一个或多个案例。这些案例构成了本书的一个主要部分。读者还将找到大量图和表格，用它们加深对内容的理解。各章末尾还提供许多问题供读者思考和进一步理解书中的内容。

第3、11和12章包含有75个问题，这些问题的排列是从基本到复杂，这样为正在学习使用模拟语言的学生提供了模拟练习。在第11章和第12章（少数在第3章）的练习特别地要求学生给出模拟实验设计的结果。有些问题详细指明试验设计——运行长度，重复运行次数，初始条件，要进行比较的系统结构等等——而另一些问题则不作限制。

本书主要讨论离散事件模拟的基本概念和原理，因此不专门讲述计算机语言。我们主要强调正确使用模拟技术，正确设计模拟试验以及正确进行输出分析，而专用语言的教学可参考其它书。然而，在离散事件模拟中时间推进的事件安排方法的概念和执行全都包括在第三章内。几个手工模拟案例用来说明如下概念：系统状态、实体和属性、事件、活动，以及未来事件表的运行。此外，向读者介绍一种通用和四种专用模拟语言：FORTRAN以及GASP，SIMSCRIPT，GPSS和SLAM。

本书分为4个部分，第一部分是离散事件模拟的导论，由三章组成。第一章介绍了系统、模拟、模型以及有关的一些概念。第二章含有大量单个系统模拟的计算的案例。本章的目的在于启发模拟初学者并能解释从模拟中获得的各种信息。在一到二次讲课之后，第二章的许多内容学生自己可看懂。第三章叙述事件及其过程相互作用的观点，并给出大量案例来说明模拟中事件排列方法的主要概念。这章还简要地说明了前面提及的模拟语言。

第二部分由三章组成，它叙述对模拟有用的数学和统计的模型。第四章复习几种统计分布及其性质。第五章讨论排队系统的特性和性能测度，以及从模拟观察中得到性能测度的估计值，还有暂态特性和稳态特性的概念。第六章叙述一些库存模型的例子，主要强调它们的性能测度以及可以作出解析解的条件。本书包含第五和六章是因为象排队和库存这些类型的系

统经常需要模拟。理解这些系统的模型中的基本概念和参数是重要的,只有这样才能在解决现实问题的时候熟练地进行有效的模拟。在某些情况下,可暂时作些简化的假设以便于用排队或库存模型来给出性能测度或其它参数(如所需最少服务员数或接近最优库存策略。)粗略的估计这些初始的设计然后通过模拟分析进一步改进。排队和库存模型十分普遍,包括有制造和生产设备及服务机构的模型,仓库和材料管理系统,运输和分配系统,通讯和计算机系统,卫生保健机构以及许多其它类型系统的模型。

第三部分由两章组成,它讨论随机数。第七章叙述随机数的发生和检验,它是离散事件随机模拟的基础。第八章包括随机变量的产生,它是利用随机数产生来自任意统计分布的采样值。

第四部分由四章组成,它涉及模拟输入数据和输出数据的统计分析。第九章讨论输入数据的采集和分析。这一章是非常重要的,因为在实际模拟中要花很多力量进行数据的采集和分析。第十章讨论模拟模型的确认和验证,这对实际工作者来讲是极为重要的。第十一章和第十二章讨论模拟实验的设计和输出分析,这些课题往往被模拟者忽视。这些章之目的在于提请注意仅运行模拟并取得输出便想得到可靠的结果是远远不够的。

离散事件系统模拟这本书可作为如下类型课程的教科书:

1. 在工程、管理或计算机科学中的初级或高级基础性模拟课程(如果没有语言教科书配合,则用第一章到第八章以及第九章至第十一章的部分,若有语言教科书配合时,可省去第三至第六章的一部分。)

2. 作为模拟的后续课程(第九至十二章,配合语言教科书,并且到实际中进行设计,它可以是对实际运行系统的模拟和分析,以及对各种可供选择的系统结构方案进行比较。)

3. 作为运筹学课程的一部分来介绍随机模型(第一,二章和第四到第六章。)

本书有几个长处。在它出版之前,这些内容作为手稿形式已多次用于课堂教学;书中包括许多案例、图及表格;并有习题解答;着重强调离散模拟方法以及特别着重强调输入和输出数据的统计分析。

我们决定在取材时采用那些我们认为最重要的课题来介绍模拟知识并且用许多案例来深化这些课题的论述。例如,在第十一和第十二章,我们用重复运行法来讨论输出分析,这种技术很容易被那些已学过基础统计课的学生所理解。在输出分析方面几个课题,包括时间序列法,频谱分析,以及再生法等更适合于在较深入些的模拟或统计教科书上讲述。作为另一个例子,我们强调了用公共随机数减少偏差的方法,因为它易于理解且在实践中是有用的,而且所需的统计分析仍然是初级水平的。

十分感谢使本书出版成为可能的许多人。十分感谢我们的同事,Donovan Young以及Jim Swain,他们在手稿完善和改进时用它进行教学并提供许多建议和帮助,特别要感谢数以百计来自各专业并修学我们所开的初等和高等离散模拟课的本科生,他们在本书完善和改进的几年之中提供了许多批评和鼓励,许多学生帮忙解答例子并核对作者的工作。要感谢他们之中的Lee Blanton, Charles Bourquin, Michael Bruce, Irvin Lee以及Harvey Rickles。全书的题解是在Francisco Ramis, Greg Cirincione以及K·K·Kuong-Lau帮助下完成的。我们非常感谢J·P·Spoerer给予的帮助,他完成了索引,我们还要感谢打字员,他们不辞辛苦地进行手稿的反复修改。我们要特别提到Joene Owen以及Betty Plummer。工业与系统工程学院提供了许多支持,促进了计划的完成。对院长Michael

E·Thomas 给予的不断鼓励表示感谢。

我们对出版本书的 Prentice-Hall 公司的工作表示感谢。特别要感谢我们的责任编辑 Barbara J· Bernstein, 他们要不时地对许多电话和事后要进行变动和修改的请求以及作者的许多询问等等作出适时的回答。

最后, 感谢一切有益的建议。

Jerry Banks

John Carson

目 录

第一部分 离散事件系统模拟概述

第一章 模拟概述.....	1
1.1 什么时候模拟是合适的工具	1
1.2 模拟的优缺点	2
1.3 应用领域	2
1.4 系统和系统环境	3
1.5 系统的组成部分	3
1.6 离散系统和连续系统	4
1.7 系统的模型	4
1.8 模型的类型	5
1.9 离散事件系统模拟	5
1.10 模拟研究的步骤.....	6
参考文献.....	8
练 习.....	9
第二章 模拟实例.....	10
2.1 排队系统的模拟	10
2.2 库存系统的模拟	19
2.3 其它模拟的例子	24
2.4 小结	28
参考文献.....	29
练 习.....	29
第三章 离散事件模拟：一般原理及计算机模拟语言.....	33
3.1 离散事件模拟的概念	33
3.1.1 用于事件调度的手算模拟	38
3.2 离散事件系统模拟的程序设计语言	44
3.2.1 用 FORTRAN 模拟.....	45
3.2.2 用 GASP 模拟.....	57
3.2.3 用 SIMSCRIPT 模拟.....	57
3.2.4 用 GPSS 模拟	63

3.2.5 用 SLAM 模拟	68
3.3 模拟语言的总结和比较	72
参考文献	72
练习	73

第二部分 数学模型和统计模型

第四章 模拟中的统计模型	83
4.1 术语和概念的复习	83
4.2 实用的统计模型	87
4.3 离散分布	90
4.4 连续分布	94
4.5 泊松过程	107
4.6 经验分布	109
4.7 小结	110
参考文献	111
练习	111
第五章 排队模型	116
5.1 排队系统的特征	116
5.1.1 顾客总体	117
5.1.2 系统容量	118
5.1.3 到达过程	118
5.1.4 排队特征及排队规则	119
5.1.5 服务时间和服务机构	119
5.2 排队符号	120
5.3 队列的瞬态及稳态特性	121
5.4 排队系统长期运行的性能测度	124
5.4.1 在系统中的时间平均顾客数 L	125
5.4.2 每一个顾客消耗在系统中的平均时间 w	126
5.4.3 平衡方程 $L = \lambda w$	127
5.4.4 服务员利用率	128
5.4.5 排队问题的费用	132
5.5 无限总体的马尔柯夫模型的稳态特性	133
5.5.1 具有泊松到达和无限容量的单服务员的队列: $M/G/1$	134
5.5.2 具有泊松到达和有限容量的单服务员的队列: $M/M/1/N/\infty$	140
5.5.3 多服务员的队列: $M/M/c/\infty/\infty$	142
5.6 有限总体模型的稳态特性 ($M/M/c/K/K$)	145
5.7 小结	149

参考文献	150
练习	150
第六章 存储系统	154
6.1 测度的有效性	154
6.2 存储策略	155
6.3 确定性系统	156
6.3.1 没有缺货和零提前期的批量 (EOQ) 模型	156
6.3.2 具有确定性提前期的EOQ模型	158
6.3.3 具有延期交货和确定性提前期的EOQ模型	159
6.3.4 制造批量模型	161
6.3.5 数量折扣模型	162
6.3.6 涨价模型	164
6.4 概率型系统	165
6.4.1 单周期模型	166
6.4.2 具有延期交货的定期检查模型	168
6.4.3 具有延期交货的连续检查模型	169
6.5 存储分析的模拟	171
6.6 小结	172
参考文献	172
练习	173

第三部分 随机数字

第七章 随机数的产生	175
7.1 随机数的性质	175
7.2 伪随机数的产生	175
7.3 产生随机数的方法	176
7.3.1 平方取中法	177
7.3.2 其它历史上感兴趣的方法	178
7.3.3 线性同余数法	179
7.4 随机数检验	182
7.4.1 频率检验	183
7.4.2 趋势检验	186
7.4.3 自相关检验	193
7.4.4 间隙检验	194
7.4.5 扑克检验	196
7.5 小结	196
参考文献	197

练 习	198
第八章 随机变量的产生	201
8.1 逆变换方法	201
8.1.1 指数分布	201
8.1.2 均匀分布	204
8.1.3 韦伯尔分布	204
8.1.4 三角分布	205
8.1.5 经验连续分布	206
8.1.6 查表法产生近似指数和正态分布	210
8.1.7 离散分布	212
8.2 正态分布的直接变换	217
8.3 卷积法	217
8.3.1 爱尔朗分布	217
8.3.2 近似正态变量的产生	218
8.4 接受—拒绝方法	219
8.4.1 泊松分布	220
8.4.2 伽玛分布	222
8.5 小结	223
参考文献	223
练 习	224

第四部分 模拟数据的分析

第九章 输入数据的分析	227
9.1 数据的收集	227
9.2 分布的识别	229
9.2.1 直方图	229
9.2.2 分布的假设	231
9.2.3 概率图	232
9.3 参数估计	233
9.3.1 初步统计量：样本均值和样本方差	234
9.3.2 建议使用的估计量	235
9.4 拟合优度检验	239
9.4.1 卡方检验	239
9.4.2 等概率区间分组情况下的卡方检验	241
9.4.3 柯尔莫哥洛夫—斯米尔诺夫拟合优度检验	245
9.5 双变量数据	246
9.5.1 单变量线性回归	247
9.5.2 回归显著性检验	250

9.5.3	在模拟中回归方程的应用	252
9.5.4	多变量线性回归	252
9.6	小结	253
	参考文献	253
	练习	254
第十章	模拟模型的验证与确认	259
10.1	模型的建立、验证和确认	259
10.2	模拟模型的验证	260
10.3	模型的校正与确认	263
10.3.1	直觉有效性	264
10.3.2	模型假设的确认	264
10.3.3	输入—输出变换的确认	265
10.3.4	输入—输出确认：利用历史上的输入数据	272
10.3.5	输入—输出确认：利用图灵检验	275
10.4	小结	275
	参考文献	276
	练习	277
第十一章	单个模型的输出分析	279
11.1	输出数据的随机特性	279
11.2	关于输出分析模拟的类型	282
11.3	性能测度及其估计	284
11.3.1	点估计	284
11.3.2	区间估计	285
11.4	终态模拟的输出分析	288
11.4.1	重复运行次数不变时的置信区间估计	289
11.4.2	假设检验	291
11.4.3	具有给定精度的置信区间	293
11.5	稳态模拟输出分析	294
11.5.1	稳态模拟中初始条件所引起的偏倚	295
11.5.2	稳态模拟重复运行方法	298
11.5.3	在稳态模拟中样本量与准确度的关系	301
11.5.4	在稳态模拟中区间估计的批平均值	302
11.6	小结	303
	参考文献	304
	练习	304
第十二章	可供选择的各种系统设计方案的比较和评价	311
12.1	两个系统设计方案的比较	311

12.1.1	具有相等方差的独立采样	313
12.1.2	具有不相等方差的独立采样	314
12.1.3	相关采样或公共随机数	314
12.2	几个系统设计方案之间的比较	321
12.2.1	多方案比较的 Bonferroni 法	322
12.3	用以估计不同的设计方案效果的统计模型	326
12.3.1	试验统计设计的目的	326
12.3.2	单因子完全随机化试验设计	328
12.3.3	两因子的析因设计	332
12.3.4	其它的统计试验设计模型	336
12.4	小结	336
参考文献		336
练习		337
附录		340

第一部分 离散事件系统模拟概述

第一章 模 拟 概 述

模拟 (Simulation) 是真实过程或系统在整个时间内运行的模仿。不管模拟是用手工处理的, 或者用计算机处理的, 都免不了产生一个人造的系统的经历, 然后观察这个人造的经历, 以便描绘推断出和实际系统有关的运行特征。

随时间而变化的系统特性, 可以通过一个模拟模型来研究, 这个模型通常取一组和系统运行有关的假设, 这些假设表示为系统中实体之间或有关目标之间的数学、逻辑以及符号的关系。一旦模型产生并确认以后, 即可用于研究关于真实系统的许多不同的“如果…怎样” (what if) 的问题。我们首先可以模拟的是系统可能的改变, 以便预测这些改变对系统性能的影响。模拟也可用于系统建成之前的设计阶段。因此, 模拟模型既可用于预测现存系统变化后的影响的分析工具, 也可作为预测新系统在不同环境下的性能的设计工具。

在某些情况下, 所研究的模型足够简单, 可用数学方法求解, 这些解可以应用微积分求得, 也可以用概率论、代数方程或其它数学方法。这些解通常由一个或多个称为系统性能测度 (Measures of performance) 的数字参数组成。但是, 许多真实系统是很复杂的, 以致这些系统的模型实际上是不可能用数学方法求解的。在这种情况下, 数字计算机模拟可用于模仿系统性能随时间变化的情况, 就象观察真实系统那样, 从模拟中收集数据。该模拟所产生的数据被用于估计系统的性能测度。

本书提供一种模拟模型——离散事件模拟模型的概念和方法的介绍性论述。第一章初步讨论了什么时候应用模拟, 它的优点和缺点以及实际应用领域。然后讨论系统的概念和模型。最后, 概要介绍建立和应用系统模拟模型的步骤。

1.1 什么时候模拟是合适的工具

利用专用模拟语言, 在降低单位运行费用条件下大容量计算机的应用, 以及模拟方法的改进, 已使模拟成为运筹学和系统分析中应用最广泛和最可接受的工具之一。在这些环境下的模拟才是应用的合适工具, 这已有许多作者, 包括 Naylor 以及其它人 [1966] 讨论过。模拟可用于下述目的:

1. 模拟可用于研究以及实验一个复杂系统的相互作用, 或一个复杂系统内部的子系统。
2. 情报、组织以及环境的改变可以被模拟并可观察这些改变对模型的性能的影响。
3. 在设计一个模拟模型时所得到的知识对改进所研究的系统有很大的价值。

4. 通过改变模拟输入以及观察输出结果,也许有助于了解哪些变量是最重要的,以及哪些变量相互起作用。
5. 模拟可用作教学工具,以增强解析解的方法论。
6. 模拟可用作新设计或新策略在实施以前的实验,因此可作为可能发生什么情况的准备。
7. 模拟可用于验证分析解。

1.2 模拟的优缺点

虽然在许多情况下,模拟是分析系统的一种合适的工具,但系统分析者应在具体情况下,寻找方法之前要考虑一下模拟的优点和缺点。模拟的主要优点已由 Schmidt 和 Taylor [1970]讨论过了,其它的优点是:

1. 一旦建立了一个模型,可重复用于分析者所提出的设计或策略。
2. 即使输入的数据有些粗糙模拟方法也可用于帮助分析一个所建议的系统。
3. 通常得到模拟数据要比从实际系统中得到数据所化费用少得多。
4. 模拟方法通常比分析法的应用更容易,因而潜在的模拟法的用户比分析法的用户可能多得多。
5. 鉴于分析模型通常需要许多简化假设,以便使它们在数学上易于处理,而模拟模型没有这些限制。对于分析模型,分析者只能计算有限的系统性能测度。而对于模拟模型,产生的数据可用于估计任意可想到的性能测度。

6. 在某些情况下,模拟是求解一个问题的唯一的方法。

Schmidt 和 Taylor 也在应用模拟之前列出了应考虑的优点:

1. 用数字计算机的模拟模型也许是费用大的,在构造和确认模型时需要消耗大量的时间。
2. 模拟模型通常需要大量的运行,因而可能导致很高的计算机费用。
3. 分析方法可以满足要求,有时候也使用模拟方法,当用户变得熟悉模拟技术而忘记了他们的数学训练时就会出现这种情况。

为了替模拟辩护,由 Schmidt 和 Taylor 以及其它人,如 Adkins 和 Pooch [1977]提到的前两个缺点由于如下因素而得到某些修正,即可用专用模拟语言和用那种每一美元能做更多次运算的功能更强的计算机来弥补。一些专用语言的讨论见第3章。

1.3 应用领域

模拟在广阔的范围内已经有大量的应用, Hillier 和 Lieberman [1980] 概括地列出了下列例子说明这种方法的广泛的通用性:

1. 某航空公司模拟大型飞机场的经营,以试验公司策略和实施的改变(即维修能力、泊位设置、备用飞机,以及其它等等)
2. 模拟交叉路口具有时序交通灯的交通通道,以确定最好的时间顺序。
3. 维修经营的模拟,以确定最佳规模的维修组。

4. 中性粒子穿过辐射屏蔽层通量的模拟, 以确定穿透屏蔽层的辐射密度。
5. 炼钢操作的模拟, 以评价操作规程的改变以及设备能力和配置的变化。
6. 模拟美国经济以预测经济政策的决策效果。
7. 大规模军事作战的模拟, 以评价防御型和进攻型武器系统。
8. 大规模分配和存储控制系统的模拟, 以改善这些系统的设计。
9. 企业总公司的综合经营的模拟, 以评价公司策略和经营的重大变化, 同时为培训企业经理提供业务上的目标。
10. 电话通讯系统的模拟, 以确定各分局的容量, 以便在最经济的水平上提供满意的服务。
11. 发展一条河流的运行模拟, 以确定最好的水坝、电站、水利工程的配置以提供所需水平的洪水控制和水资源的改进。
12. 生产线运行模拟, 以确定应提供的制品存储空间。

1.4 系统和系统环境

为了模造一个系统, 必须弄明白系统和系统边界的概念。一个系统被定义为一组元素的集合, 为了达到某些目的这些元素以某些规则相互作用和相互关联而集合在一起的。制造汽车的生产系统即是一例。机器、部件以及在装配线上为生产高质量车辆而操作的工人。

系统经常由于系统之外出现的变化而受到影响, 这些变化称为系统环境发生的变化[Gordon, 1978], 在建立一个系统的模型时, 必须决定系统及其所处环境之间的边界, 这些决定也许取决于研究的目的。

例如, 在工厂系统中, 控制定货到达的因素可认为是工作外部的影响, 因而是环境的一部分。但是, 如果考虑供应对需求的影响, 工厂的产量和定单到达之间将存在某种关系, 这种关系必须认为是系统的活动。同样, 在银行系统中, 能够支付的最大利率可能是有限的。对于单个银行的研究来说, 这将被认为由环境强加的约束。但是, 在研究货币规律对银行事业的影响的时候, 设置这个利率限度将是系统的一个活动[Gordon, 1978]。

1.5 系统的组成部分

为了了解和分析一个系统, 需定义许多术语。“实体”是系统中有意义的一个物体。“属性”是某一实体的特性。“活动”表示规定长度的时间周期, 如研究一个银行, 顾客也许是实体之一, 支票帐目的结算可以是一个属性, 进行存款可以是一个活动。

为某一研究而组成一个系统的实体集, 也许仅是为另外研究中整个系统的子集[Law 和 Kelton, 1982]。例如, 如果研究上面提到的银行, 以便确定收发款所需的出纳员数。系统可定义为银行规定的出纳人员和在等待线中等待的顾客两部分。如研究的目标扩充为确定需要专门出纳员数(准备现金支票和出售旅行支票等等), 则系统必须扩充定义。

系统的状态被定义为与研究目标有关的, 在任何时间为描述系统所必须的变量的集合。在银行研究中, 可能的状态变量是正在工作的出纳员人数, 在等待线上排队或正在服务的顾客数, 以及下一个顾客的到达时间。“事件”被定义为可改变系统状态的某一瞬时事变。“内

因”(endogenous)用于描述发生在系统内部的活动和事件, -“外因”(exogenous)用于描述环境中的活动和事件, 它们对系统有一定影响。在银行研究中, 顾客的到达是外因事件, 而顾客完成服务是一个内因事件。

表 1.1 列出了服务系统的实体、属性、活动、事件以及状态变量的例子。这里只表示系统组成部分的一部分, 除非知道研究的目的, 否则不可能列出完全的表。根据目标的不同, 将考虑系统的各个方面, 从而能列出完整的系统组成部分。

表 1.1 系统和组成部分的例子

系 统	实 体	属 性	活 动	事 件	状 态 变 量
银 行 快速轨道	顾 客 乘车的人	支付账目结算 起点站终点站	进行存款 旅 行	到达,离开 到站,到达 终点	正在工作出纳人数,等待的顾客人数 在每站等待的乘车人数,在旅行 的人数
生 产 通讯 存 储	机 器 信 号 仓 库	速度,能力,故障率 长度,终端 容 量	焊接,冲压 传 输 退 回	故 障 到达终端 需 求	机器的状态(忙, 空闲或故障) 等待传输数目 存贮量,欠付需求

1.6 离散系统和连续系统

系统可分成离散的或连续的系统。“实际上很少系统是完全离散或完全连续的,但是对大多数系统而言以一种类型的变化为主,因而通常既可以将一个系统归入离散的,也可以归入连续的”[Law 和 Kelton, 1982]。离散系统是这样的系统, 在系统中状态变量的变化仅发生在一组离散的时间点上。银行是离散系统的一个例子, 因为状态变量, 即在银行内的顾客数仅当顾客到达或给顾客服务完成时才改变。图 1.1 表示仅在离散时间点上顾客数是如何改变的。

在连续系统中, 状态变量随时间连续地变化。坝后水头就是一例, 在暴雨期间和暴雨之后, 雨水流入坝后的湖中。从坝后放水是为了控制洪水和用于发电, 蒸发也会减小水位。图 1.2 表示该连续系统的状态变量, 即坝后的水头如何变化的。

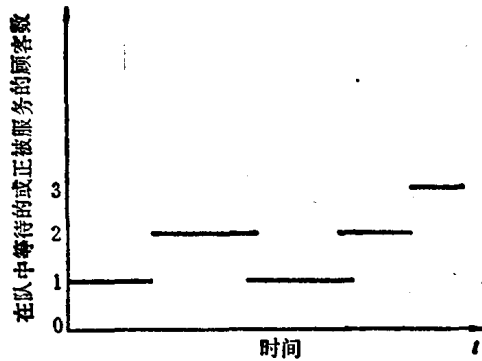


图 1.1 离散系统状态变量

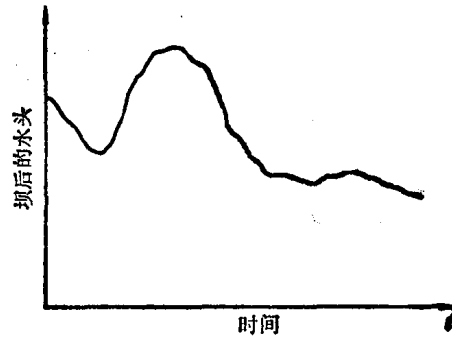


图 1.2 连续系统状态变量

1.7 系统的模型

有时候, 研究一个系统以便了解系统中各组成部分之间的关系或预测该系统在新的策略