

高等学校试用教材

管理系统模拟

黎志成 冯允成 侯炳辉 编著

清华大学出版社

C93
31

高等学校试用教材

管 理 系 统 模 拟

黎志成 冯允成 侯炳辉 编著



清 华 大 学 出 版 社

内 容 简 介

管理系统模拟是由管理工程、系统工程、应用数学和计算机科学相结合的新兴现代化管理技术。它对于辅助经济与管理决策和系统设计具有非常重要的作用。

本书共分十二章。第一、二章阐述管理系统模拟的基本概念和建立模拟模型的基本理论与方法；第三、四章介绍随机数的生成与检验方法和随机变量的生成方法；第五~十章说明GASP IV, Q-GERT, GPSS等模拟语言的工作机理、组成部分以及它们在管理中的应用；第十一章阐述模拟输出结果的统计分析；第十二章说明模拟模型的验证与确认的方法以及模拟实验设计。

本书可作为高等学校的管理工程、管理信息系统、系统工程、技术经济、管理科学、工业外贸、工业经济、企业管理等专业的教材或教学参考书；也可供经济管理干部和工程技术人员参考。

(京)新登字158号

3247/38

管 理 系 统 模 拟

黎志成 冯允成 侯炳辉 编著

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

北京联华印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行

☆

开本：787×1092 1/16 印张：22¹/₄ 字数：563千字

1989年6月第1版 1989年10月第3次印刷

印数：8001—10000

ISBN 7-302-00430-7/F·26

定价：9.50元

前 言

管理系统模拟是近二十年来得到迅猛发展的由管理工程、系统工程、应用数学和计算机科学相结合的新兴现代化管理技术。它对于辅助经济与管理决策和系统设计具有非常重要的作用。

国家教育委员会管理工程类专业教材委员会的一九八六年会议决定将《管理系统模拟》列为高等学校的管理工程类各专业的研究生和管理信息系统专业本科生的必修专业课程以及其它专业本科生的选修专业课程。该委员会的一九八七年会议还拟定了本课程的教学基本要求。本课程培养学生掌握系统模拟的基本理论与方法，具有建立、分析、验证与确认模拟模型，设计系统模拟程序，分析输入数据和输出结果以及运用一种模拟语言对管理系统进行计算机模拟的能力。本书是编著者受国家教委管理工程类专业教材委员会的委托根据上述要求而编写的。

全书共分十二章。第一、二章阐述管理系统模拟的基本概念和建立模拟模型的基本理论与方法；第三、四章介绍随机数的生成与检验方法和随机变量的生成方法；第五~十章依次分别说明GASP IV, Q-GERT, GPSS等模拟语言的工作机理、组成部分以及它们在管理中的应用；第十一章阐述模拟输出结果的统计分析；第十二章说明模拟模型的验证与确认的方法以及模拟实验设计。根据本课程的教学基本要求，第一~四章，第十一、十二章是共同的必学部分，至于第五~十章，则由各院校根据本单位拥有的模拟软件等情况，选学其中的两章。

本书由华中理工大学蔡志成教授（第一、二、五、六章）、北京航空航天大学冯允成教授（第七、八、十一、十二章）、清华大学侯炳辉副教授（第三、四、九、十章）共同编著，由蔡志成担任总纂。

本书由中南工业大学李一智教授主审。吉林工业大学庠伟副教授、清华大学高云鹏副教授参加了审稿，提出了许多宝贵的意见。国家教委二司、国家教委管理工程类专业教材委员会、清华大学出版社以及编著者所在院校的有关负责同志，都对本书的编写与出版给予了热情的指导和支持。在此，编著者一并致以深切的谢意。

由于编著者的水平所限，时间仓促，疏漏谬误之处在所难免，恳切希望读者提出批评和指正。

编著者

一九八八年二月

目 录

第一章 系统模拟概论.....	1
§1-1 关于系统模拟的概念.....	1
§1-2 单人服务排队系统的人工模拟.....	6
§1-3 系统模拟的步骤.....	8
§1-4 系统模拟的应用和发展.....	10
§1-5 模拟语言简介.....	12
第二章 系统模拟模型基础.....	15
§2-1 系统模拟的术语和类型.....	15
§2-2 系统模型建立的原则.....	17
§2-3 离散型模拟模型.....	19
§2-4 连续型模拟模型.....	36
§2-5 专家系统与模拟.....	39
第三章 随机数的生成.....	44
§3-1 均匀分布随机数的性质.....	44
§3-2 均匀分布随机数的生成.....	45
§3-3 均匀分布随机数的检验.....	53
第四章 随机变量的生成.....	61
§4-1 随机变量及其分布.....	61
§4-2 随机变量的生成.....	64
§4-3 经验分布随机变量及其生成.....	78
第五章 GASP IV 模拟语言的工作机理和组成部分.....	80
§5-1 总论.....	80
§5-2 GASP IV 语言的子程序.....	86
§5-3 用户编写的程序.....	95
§5-4 GASP IV 控制语句.....	100
第六章 GASP IV 模拟语言在管理中的应用.....	106
§6-1 生产计划系统的模拟.....	106
§6-2 网络计划系统的模拟.....	116
§6-3 生产作业计划系统的模拟.....	129
§6-4 生产-销售系统的连续型模拟.....	136
习题.....	149
第七章 随机网络模拟及Q-GERT 模拟语言.....	151
§7-1 随机网络的基本概念.....	151
§7-2 具有排队功能的随机网络.....	153

§7-3	初级Q-GERT网络模拟及分析程序	155
§7-4	Q-GERT网络模拟功能的扩展	164
§7-5	程序插入和用户函数	171
§7-6	Q-GERT子网络	177
第八章	Q-GERT 模拟语言的应用	183
§8-1	零件加工的 Q-GERT 网络模拟	183
§8-2	生产线上机器修理的模拟	185
§8-3	流水作业传送带系统的模拟	187
§8-4	采矿场铲运作业系统模拟	189
§8-5	使用子网络的空间实验室模拟	194
§8-6	造船厂年度计划的模拟	199
	习题	204
第九章	GPSS 语言	205
§9-1	GPSS 的基本概念	205
§9-2	动态实体及 GPSS 模拟过程	208
§9-3	有关动态实体属性的程序块	214
§9-4	函数	217
§9-5	设备及存贮器	221
§9-6	测试	227
§9-7	GPSS 中统计数据收集	231
§9-8	变量与保存值	235
第十章	GPSS 模拟语言的应用	238
§10-1	市区交通系统模拟	238
§10-2	露天矿矿石装运模拟	240
§10-3	公共汽车站模拟	244
§10-4	电机车间生产管理模拟	247
§10-5	生猪再生产系统的 GPSS 模拟	258
	习题	264
第十一章	模拟结果的统计分析	266
§11-1	模拟的类别和系统的性能测度	266
§11-2	终态模拟的置信区间	272
§11-3	稳态模拟的置信区间	279
§11-4	多方案模拟输出的比较分析	291
§11-5	方差缩减技术	298
第十二章	模拟模型的确认和实验设计	302
§12-1	模拟模型的验证	302
§12-2	模拟模型确认的“三步法”	304
§12-3	模拟输出与实际系统观察结果的统计处理方法	306
§12-4	模拟的实验设计与优化	310

参考文献	328
附 录	330
附录 1 t 分布的临界点 $t_{\alpha, \nu}$	330
附录 2 χ^2 分布的临界点 $\chi^2_{\alpha, \nu}$	331
附录 3 正态分布函数	332
附录 4 $\alpha = 0.05$ 时的 F 分布的百分数	334
附录 5 $K-S$ 检验的临界值	335
附录 6 GASP IV 通用变量及其定义	335
附录 7 GASP IV 的出错信息	338
附录 8 GPSS 的标准数字属性与标准逻辑属性	340
附录 9 h_i 的数值	343

第一章 系统模拟概论

§ 1-1 关于系统模拟的概念

一、系统的概念

系统就是由多个相互依赖、相互作用、共同配合实现预定功能的要素的有机集合体。这里所说的要素，可以是物理形态的，如一台车床的传动箱、床身、底座、进给机构、尾架等；也可以是管理的一定阶段，如构成管理的基本职能的计划、组织、指导、协调和控制等阶段；还可以是子系统或更低层次的组成部分。本课程所要研究的管理系统也就是履行特定管理功能的诸要素的有机集合体。

系统具有如下的特性：

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。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的要求，相互联系构成一个有机整体。系统是一个复杂的整体，为了便于管理与控制，往往把系统整体分解成一个多层次结构，以提高系统的有序性。

譬如，一个加工装配型的企业管理系统，一般由综合计划、经营销售、生产计划与控制、产品开发与研究、质量控制、财务与成本、物资供应与运输、劳动工资、人事教育、辅助生产等方面的子系统组成，它们相互紧密联系。

2. 关联性

要使一个系统有效地履行它的功能，它的各个子系统之间必然是相互联系和相互作用的。这表现为某个子系统从别的子系统接受输入而产生有用的输出。这个子系统的输出又往往成为另外的子系统的输入。各个子系统之间产生一定的物资流动、信息流动以及信息反馈关系。图 1-1 说明了一个企业的与生产有关的主要部门的相互关系。

企业管理系统的关联性往往表现为它的各个组成部分存在着一定的数学关系，它可以用相应的数学关系式来表达。譬如，一个企业成品库存量与生产量、销售量有着如下的关系：

$$\text{期末成品库存量} = \text{期初成品库存量} + \text{该期生产数量} - \text{该期销售数量}$$

系统的关联还表现为它的各个子系统之间存在着一定的逻辑关系。譬如，一个网络计划系统，它的各个作业（或活动）和节点（或事项）有着一定的工艺性或组织性的逻辑关系，我们用一定的逻辑模型去描述它，并且可以借助计算机模拟对网络计划系统求解。

3. 目的性

系统具有目的性，它履行特定的功能，实现既定的目标。譬如，一个企业管理系统要合理地组织企业的人员、物资、资金、信息等各种流程，有效履行对企业生产经营活动的各个

环节的管理功能，以提供满足社会需要的优质产品或服务，降低劳动消耗，减少资金占用，提高综合经济效益，努力使系统达到优化。

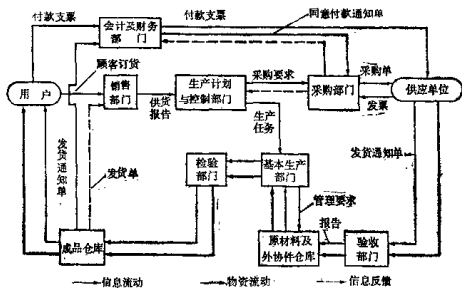


图 1-1 企业的与生产有关的主要部门的联系

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产生一定的联系和相互作用，从环境接受各种影响（包括正常输入以及随机干扰），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。外部环境及其环境是经常变化的，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。

一个企业的生产与经营决策系统要经常密切注视与研究国家的有关发展经济和科技的方针政策和具体指令，国内外市场对产品的品种、质量和数量的需求，同行业竞争对手的生产与经营动向，新产品、新工艺、新材料和新技术的发展趋势，…等等方面的动态变化，及时地、正确地收集和处理大量的来自企业外部和内部的生产经营信息，适时、机动地采取有效措施对系统进行调节，实现生产经营管理的优化决策。

系统可以按照不同的标志进行分类，如确定性系统与随机性系统，连续性系统与离散性系统，简单系统与复杂系统，线性系统与非线性系统，自然系统与“人造”系统，开放系统与封闭系统，静态系统与动态系统，等等。按照管理系统所履行的功能可以将它们划分为企业管理系统，物资管理系统，国民经济计划管理系统，工业管理系统，农牧渔管理系统，交通运输管理系统，邮电管理系统，建筑管理系统，教育管理系统，卫生与社会服务系统，等等。

二、系统模型

(一) 系统模型的概念

系统模型是对一个现实存在的系统或计划建立的系统的抽象描述，也即一个现实系统的抽象化。建立和运用系统模型的目的在于指明系统的主要组成部分以及它们之间的数学逻辑关系，以便人们对系统的运动规律进行深入的分析和研究。一般说来，系统模型在我们所研究的问题的范围内更普遍、更集中、更深刻地反映了现实系统的特征和变化规律。

系统模型按存在形式可以分为以下几类：

(1) 描述性模型：运用文字形式简明阐述系统的构成、所处环境、主要功能和研究目的，等等。

(2) 物理模型：如一个待研制的新产品的模型，一个工厂、车间、仓库、生产线的平面布置模型，等等。

(3) 数学逻辑模型：它们是系统的各种变量的数学逻辑关系的抽象表述。

(4) 流程图和图解式模型：通常它们显示了系统组成部分相互之间的基本逻辑关系。

(5) 计算机程序：运用通用的计算机程序语言或专用的模拟语言编写的计算机程序。

系统模型按照系统状态变化可以分为静态模型和动态模型。前者描述系统在某个特定时刻的状态。后者描述系统状态随时间的变化，模拟就是系统状态随时间变化的动态写照。

系统模型依照系统变量的变化规律可以分为连续型模型和离散型模型。在连续型模型中，系统变量随时间呈连续性的变化。在离散型模型中，系统变量随时间呈间断性的突然变化。

系统模型按是否包含有随机因素可以划分为确定性模型和随机性模型。在确定性模型中，不涉及随机变量，系统在某一时刻的新状态完全由系统的原状态以及相应的活动所决定。也即在一定输入下，产生一定的输出结果。在随机性模型中，包含有随机变量，在既定的条件和活动下，系统从一个状态转换为另一个状态，不是确定性的，而是具有随机性质，遵循一定的统计分布规律。

(二) 系统模型的结构

为了建立和研究系统模型，必须了解系统模型的结构。系统模型的基本结构可以用如下的数学形式表示：

$$E = f(x_i, y_i)$$

式中：

E ——系统的工作性能；

x_i ——可以控制的变量和参数，它们能够由决策者加以控制和利用，以便使模型解优化。通常，决策变量是 x_i 的主要部分；

y_i ——不可控制的变量和参数，它往往不能为决策者所控制，在某种程度上表达了系统模型的环境，作为模型的输入信息反映其对模型解的影响；

f ——产生 E 的 x_i 和 y_i 之间的关系。

一般说来，系统模型是由以下方面的某种组合构成的：(1) 组成要素；(2) 变量；(3) 参数；(4) 函数关系；(5) 约束条件；(6) 目标函数。下面分别予以阐述。

1. 组成要素

它们是指所研究的系统的组成部分，也即系统的要素或子系统。对一个机械制造工厂说来，它可能是在工厂内的车间，仓库，班组，工人，设备，产品，在制品，原材料，外协件，等等。我们把一个系统看成是一组相互独立、相互作用以某种形式联合起来去实现特定功能的实体的集合。按照这个观点，组成要素是构成系统的实体。

2. 参数

参数是指模型运算部分能赋予任意值的一个量度（或系数）。与变量不同，对于一定形式的函数它只能赋予定值，即参数一经设定即保持不变。譬如，对于泊松分布函数而言，随机变量 X 取值为 x 的概率为 $P(X=x) = \lambda^x e^{-\lambda} / x!$ 。其中 λ 为分布函数的参数， x 为变量，而

e 为常数。

3. 变量

在系统模型中，有两类变量：外生变量和内生变量。外生变量又可称为输入变量，它起源于或产生于系统的外部，即由外部原因所引起的。内生变量是在系统内部产生的，即由内部原因所引起。内生变量又进一步划分为状态变量和输出变量，前者表明它们在系统内的状态或条件，后者是指离开系统时的状态。对于一个生产及存储控制系统而言，系统的变量可能有产品需求量，产品及其组成元件的产量，各车间和全厂的工人数量，产品、元件及原材料的库存量，等等。

依照变量的相互依赖关系，变量可以划分为自变量和因变量。在系统模拟中，主要的自变量通常为模拟时间，而因变量则会随着系统环境及模拟目的的不同而各不相同。模拟就是系统状态随时间而变化的动态写照。

4. 函数关系

函数关系描述一个系统的变量和参数在系统的组成部分或组成部分之间的相互关系。它可能是确定性的或随机性的。确定性函数关系是当输入一经确定，则输出也唯一确定；而随机性函数关系是在既定的输入情况下，仍会产生不确定的输出。这两类函数关系都以输入变量以及状态变量的数学方程的形式出现，它们可以由统计方法和数学分析法进行假设和推断。

5. 约束条件

约束条件体现了对变量数值或可供分配或消耗的资源限制。对于一个生产计划系统模型而言，它的约束条件可能有：

- (1) 产品的市场需求量；
- (2) 生产能力的限制，包括人力、设备、厂房面积及空间、运输能力等方面的限制；
- (3) 物质资源（原材料、能源等）尤其是稀缺物资供应量的限制；
- (4) 财务资金方面的限制；
- (5) 其它具体生产技术条件的限制。

6. 目标函数

目标函数是评价系统性能的准则。随着决策策略以及系统模拟目的的不同，目标函数可以是单目标的或多目标的。通过系统模型拟定以及模拟试验，我们能够获得优化系统目标函数的最优解或者接近于最优解的较优解。在设计与分析生产计划决策系统时，目标函数可能为下述项目中的一或几项：

- (1) 较高的服务水平（或供货率）；
- (2) 最大利润；
- (3) 最高生产率；
- (4) 最低产品成本或生产费用；
- (5) 最低废品率或最高优质品率；
- (6) 生产均衡率；
- (7) 最少流动资金占用量或流动资金周转天数；
- (8) 其它。

三、系统模拟的定义和作用

对于一个管理系统说来，它与外部环境之间或其各组成部分之间存在着一定数学的或逻辑的关系。我们可以综合运用定性分析和定量分析的方法，建立一定的数学逻辑模型去正确表述这些数学逻辑关系，以反映系统的本质，探索其运动规律。

如果管理系统的这些数学逻辑关系并不复杂，那末所建立的相应的数学模型往往可以采用数学解析方法求解。可是，在许多情况下，一个管理系统的这种数学逻辑模型十分复杂，以致很难甚至不可能运用数学解析法求解。这时，我们需要借助系统模拟来解决问题，辅助管理系统的决策。

系统模拟就是在建立数学逻辑模型的基础上，通过计算机实验，对一个系统按照一定的决策原则或作业规则由一个状态变换为另一个状态的动态行为进行描述和分析。

由系统模拟的这个定义，可以看出它具有以下实质：

(1) 模拟是一种数值技术。对于大多数具有随机因素的复杂系统，往往很难甚至无法用准确的数学模型表述，从而也无法采用解析方法评价，于是系统模拟通常就成为解决这类问题的好方法。

(2) 模拟是一种“人工”的实验手段。通过模拟我们能够对所研究的系统进行类似于物理实验、化学实验等那样的实验。它和现实系统的实验的主要差别在于模拟实验依据的不是现实系统本身及其所存在的实际环境，而是作为系统的映象的系统模型以及相应的“人工”环境。显然，模拟结果的正确程度完全取决于模拟模型和输入数据是否客观地、正确地反映现实系统。

(3) 由于电子计算机可以加速模拟过程和减少模拟误差，所以电子计算机（包括数模计算机和数字计算机）模拟在整个系统模拟技术中占据着日益重要的地位。在本门课程中，我们把注意力集中在数字电子计算机模拟上面。

(4) 尽管在系统模拟中，我们要研究某些特殊的时间点的系统状态，但是，一般说来，模拟是对系统状态在时间序列中的动态写照。

(5) 大多数的管理系统模拟属于随机性系统模拟。但是，这并不排斥在某些情况下，为简化起见，我们可以采用确定性系统模拟来处理所研究的问题。

总而言之，管理系统模拟是一种崭新的辅助管理决策和系统设计的现代化管理技术。具体地说，它起着以下几方面的作用：

(1) 对于现有的实际运行的系统，如果为了深入了解它以及改进它，而在实际的系统中进行实验，往往要花费大量的人力、物力、财力和时间，有时甚至成为不可能，而通过计算机模拟，可以使系统正常工作不受干扰，经过分析模拟结果，对现有系统在拟订的工作条件下的性能作出正确分析与评价，并预测其未来发展，提出改进方案。

(2) 对于所设计的新系统，在未能确定它的优劣的情况下，可以不必花费大量的投资去建立它，而是采用计算机模拟，对新系统的可行性和经济效益作出正确的评价，帮助人们选择最优或较优的系统设计方案。

(3) 在管理的宏观、微观决策中，通过收集、处理和分析有关信息，可能拟订多个不同的决策方案，它们具有不同的决策变量或参数组合。针对这些不同的决策方案，进行计算机模拟的多次运行，按照既定的目标函数对不同的决策方案进行分析比较，从中选择最优方

案，辅助最优管理决策。

§ 1-2 单人服务排队系统的人工模拟*

一、系统的背景

为了使读者进一步理解系统模拟的概念，在这里，我们例举了一个离散型系统——单人服务排队系统的人工模拟。这个系统是拥有一个出纳员的储蓄所。顾客来到储蓄所，当出纳员繁忙时就排队等候，当出纳员空闲时就接受服务，然后离开系统。为简化问题起见，假定顾客的到达时间和每个顾客的服务时间皆为已知，如表 1-1 所示。

我们对该系统进行人工模拟，其目的在于确定出纳员的空闲时间所占的比例以及顾客在系统内的平均停留时间。

表 1-1 顾客的到达时间和服务时间

顾客编号	到达时间(分)	服务时间(分)
1	3.2	3.8
2	10.9	3.5
3	13.2	4.2
4	14.8	3.1
5	17.7	2.4
6	19.8	4.3
7	21.5	2.7
8	26.3	2.1
9	32.1	2.5
10	36.6	3.4

二、系统的人工模拟

由于系统模拟是系统状态随时间而变化的动态写照，因此必须定义系统状态。在本例中，系统状态可以由出纳员的繁忙或空闲状态以及系统内顾客数量来决定。系统状态在下列情况下发生改变：（1）顾客到达储蓄所；（2）出纳员完成服务，然后顾客离开系统。为了进行模拟，我们通过处理在一个时间序列中的顾客到达事件和顾客离开事件来确定系统状态随时间的变化。

在本例的人工模拟中，为系统假设了以下的初始条件：系统内没有顾客，出纳员空闲，第一个顾客在 3.2 分来到系统。表 1-2 说明了本储蓄所的人工模拟情况。表中的时间单位为分。

在表 1-2 中，第（1）、（2）栏数据取自表 1-1。第（3）栏开始服务时间等于本顾客到达时间与前一顾客离开时间中的较大值。第（4）栏离开时间等于第（3）栏开始服务时间与表 1-1 中的服务时间之和。第（5）栏排队时间等于开始服务时间与到达时间之差。

* 详见参考文献[3]的第 6~10 页。

第(6)栏顾客在系统内停留时间等于离开时间减去到达时间。顾客的平均排队时间为2.61分,平均停留时间为5.81分。

到达事件和离开事件的处理逻辑与事件时间的系统状态有关。在到达事件中,来到系统的顾客的处理取决于出纳员状态。若出纳员空闲,则将出纳员状态变为繁忙,并安排一个顾客离开事件在与现在时间相隔的服务时间后发生。可是,当顾客来到时,若出纳员繁忙,则他

表 1-2 本储蓄所的人工模拟情况

顾客编号 (1)	到达时间 (2)	开始服务时间 (3)	离开时间 (4)	排队时间 (5)=(3)-(2)	系统内停留时间 (6)=(4)-(2)
1	3.2	3.2	7.0	0.0	3.8
2	10.9	10.9	14.4	0.0	3.5
3	13.2	14.4	18.6	1.2	5.4
4	14.8	18.6	21.7	3.8	6.9
5	17.7	21.7	24.1	4.0	6.4
6	19.8	24.1	28.4	4.3	8.6
7	21.5	28.4	31.1	6.9	9.6
8	26.3	31.1	33.2	4.8	6.9
9	32.1	33.2	35.7	1.1	3.6
10	36.6	36.6	40.0	0.0	3.4

表 1-3 本系统模拟的事件描述

事件时间	顾客编号	事件类型	排队人数	系 统 内 人 数	出纳员状态	出纳员空闲 时
0.0	—	开 始	0	0	空 闲	—
3.2	1	到 达	0	1	繁 忙	3.2
7.0	1	离 开	0	0	空 闲	
10.9	2	到 达	0	1	繁 忙	3.9
13.2	3	到 达	1	2	繁 忙	
14.4	2	离 开	0	1	繁 忙	
14.8	4	到 达	1	2	繁 忙	
17.7	5	到 达	2	3	繁 忙	
18.6	3	离 开	1	2	繁 忙	
19.8	6	到 达	2	3	繁 忙	
21.5	7	到 达	3	4	繁 忙	
21.7	4	离 开	2	3	繁 忙	
24.1	5	离 开	1	2	繁 忙	
26.3	8	到 达	2	3	繁 忙	
28.4	6	离 开	1	2	繁 忙	
31.1	7	离 开	0	1	繁 忙	
32.1	9	到 达	1	2	繁 忙	
33.2	8	离 开	0	1	繁 忙	
35.7	9	离 开	0	0	空 闲	
36.6	10	到 达	0	1	繁 忙	0.9
40.0	10	离 开	0	0	空 闲	

就只能加入排队行列,于是排队人数加1。对于离开事件,其处理逻辑由队列长度而定。如果队列中有顾客等候服务,那么出纳员状态仍为繁忙,此时队长减1,并安排此顾客的离开事件;如果队列已空,那么就将出纳员状态设定为空闲。

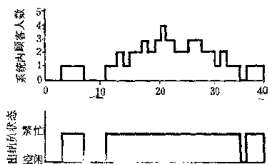


图 1-2 系统状态的变化

表 1-3 是本系统模拟的事件描述。其中事件按事件时间由小到大的顺序排列。图 1-2 表示了系统状态随时间的变化。由图 1-2 可以看出,在模拟开始后的40分钟内,系统内的平均顾客人数为1.4525,出纳员的空闲时间占20%。

§ 1-3 系统模拟的步骤

管理系统模拟是一项辅助管理决策和系统设计的现代化管理技术。对一个管理系统进行计算机模拟,需要经历一个去粗取精,去伪存真,由表及里,由浅入深,逐步把握系统状态变化规律的过程。整个系统模拟过程可以划分为一定的阶段,经过一定的步骤。图 1-3 说明了系统模拟的步骤。现对各个步骤简要说明如下:

1. 问题描述与系统定义

这是系统模拟的首要阶段。在进行系统模拟之前,必须对所研究的问题正确地进行定量的或定性的描述,明确规定系统模拟的目的与任务。问题描述比问题求解更为重要。显然,对于一个错误的问题,无论花费多大的精力和时间去探求“精确解”,都将是徒劳的。要正确定义所研究的系统的边界、组成部分和环境,正确决定评价模拟方案优劣的准则,也即衡量系统性能或模拟输出结果的目标函数。实践证明,这个阶段工作的好坏,对于系统模拟的质量和效率是至关重要的。

2. 建立系统模型

根据系统的结构、管理决策原则和作业规则,分析系统及其各组成部分的状态变量和参数之间的数学逻辑关系,在此基础上建立所研究的系统的数学逻辑模型。系统模型应该正确反映实际系统的本质,还应简洁适宜。它过于简化无助于研究系统任务的完成。它过于详细又会使模型显得繁琐,淹没了影响系统状态变化的主要因素,问题难于求解,并且浪费人力和财力。一种可取的办法是,开始先建立考虑系统的主要因素较为简单的模型,而后再逐步加以补充和完善。

3. 收集和整理数据资料

在系统模拟中,需要输入大量的数据,并且它们的正确性直接影响模拟输出结果的正确

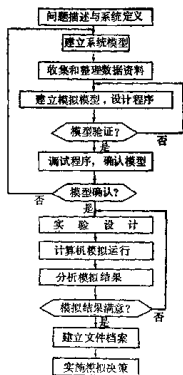


图 1-3 系统模拟的步骤

性,于是正确地收集和整理数据资料便成为系统模拟的重要组成部分。通过这项工作,提供数学模型计算所需的参数数值以及基础资料(如有关的物资、工时、能源等的消耗定额,各种费用定额等),确定各项随机变量的分布函数形式及其相应参数,并汇集系统组成部分的相互关联的定性分析资料。所以,在一定程度上说,良好的管理基础工作是管理系统模拟得以进行的重要前提。

4. 建立模拟模型,设计程序

运用一定的通用的计算机程序语言或专用模拟语言,将系统的数学逻辑模型转变为主要由计算机程序组成的模拟模型,以便在计算机上进行模拟运行。在这个阶段,要进行模型的验证(*Model Verification*),考察计算机模拟程序是否正确反映了系统的数学逻辑模型,并在必要时进行相应的修改。

5. 调试程序,确认模型

进行调试性模拟,分析其结果,进行模型的确认,考察所设计的数学逻辑模型是否正确地反映了现实系统的本质。随之相应修改模型和调整计算机程序,直至数学逻辑模型的精度达到满意的水平。

6. 实验设计

这主要是为建立系统模拟运行的实验条件。通常计算机模拟实验要达到两个目的:(1) 探求优化输出结果的可控变量与参数的最佳组合;(2) 阐明模拟输出结果与系统的可控因素之间的关系。为此,要合理设计具有不同的可控变量与参数组合的模拟方案,设定系统的初始条件,确定模拟运行长度,决定随机样本大小和独立模拟运行次数,等等。

7. 计算机模拟运行

对所研究的系统进行大量的计算机模拟运行,以获得丰富的模拟输出资料。一般应详细、准确地记录每次模拟运行的输入参数和输出结果,供分析之用。

8. 分析模拟结果

对计算机模拟运行所获得的输出结果从以下几方面进行分析:(1) 通过计算样本均值、均值方差以及置信区间等指标分析模拟结果的统计特征;(2) 进行灵敏度分析,考察输入参数值的变化对输出结果的影响。如果某些参数的微小变化会引起输出结果的巨大变化,那末这些参数的灵敏度高,值得花费更多的时间和精力去对它们求得更精确的估计;反之亦然。在进行灵敏度分析方面,系统模拟实验较之现实系统实验有着独到的优点;(3) 依据既定的目标函数,选择较优方案。在上述分析的基础上,作出模拟结论,向管理决策人员提出建议以辅助管理决策。

9. 建立文档(*Documentation*)

把经过验证、确认和运行考核的系统模型、计算机模拟程序以及相应的输入、输出资料和分析结论,写成书面文件,建立档案以备查询。它一方面供系统分析与设计人员改进模型、深化模拟作参考;另一方面供管理决策人员改善决策和实施决策之用。

10. 实施模拟决策(*Implementation of Simulation-Aided Decision*)

将经过计算机模拟实验辅助作出的管理决策付诸实施。只有实现了这一步,系统模拟才能完成自己的任务,达到预期的目的。

§ 1-4 系统模拟的应用和发展

一、国外系统模拟的应用和发展

(一) 系统模拟的应用

系统模拟在工业发达国家里获得日益广泛的应用。大量文献介绍,系统模拟已逐步应用于企业管理系统,物资管理系统,研究与开发系统,军事系统,服务系统,交通运输管理系统,城市规划系统,卫生与保健系统,教育系统等等众多方面。某些文献介绍了七十年代初期对美国的一千家最大的公司的计划系统应用定量分析方法的情况,如表1-4所示*。

表 1-4 应用定量分析方法的频率

项 目	应 用 频 数	所 占 百 分 比
模拟研究	60	29
线性规划	43	21
网络分析(包括PERT与CPM)	28	14
存储理论	24	12
非线性规划	16	8
动态规划	8	4
整数规划	7	3
排队理论	7	3
其它	12	6
合 计	205	100

某些文献介绍了系统模拟的广泛应用领域,现将其中的一部分归纳为如下的方面:

1. 工业企业管理系统:如顾客行为预测,工业企业模型,生产作业计划,设备的平面布置和作业安排,财务预测,人员安排,企业内部的物资流动,工厂生产过程设计,等等。
2. 物资分配与流通系统:如仓库布局,集装箱传送,存储订货规则设计,等等。
3. 交通运输管理系统:如航空运输控制排队服务,飞机维修作业计划,机场设计,公共汽车线路设计,公共汽车作业安排,港口设计,谷物装卸作业,停车场设计,城市交通系统设计,铁路运输调度,交通路口灯光控制,出租汽车调度,等等。
4. 卫生及教育系统:如医院模型,医药物资管理,医疗救护车的布局和调度,医院人员安排,学校区域模型,图书馆作业设计,大学财务和作业预测,等等。
5. 资源管理系统:如国家人力调节系统,自然资源安排,水利资源开发,等等。
6. 服务系统:如银行出纳作业安排,文书档案处理系统设计,通讯系统设计,信息系统设计,保险人员雇佣决策,等等。
7. 军事及保安系统:如军事作战模拟,军事后勤系统设计,警察系统设计,等等。

(二) 系统模拟的发展

* 见参考文献[6]的第13页。