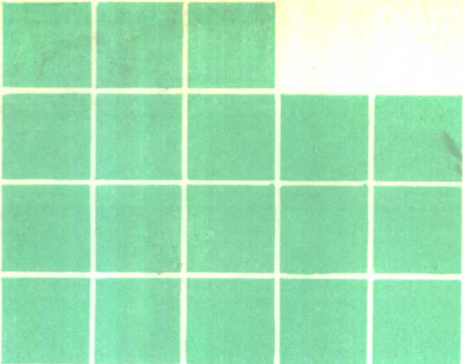
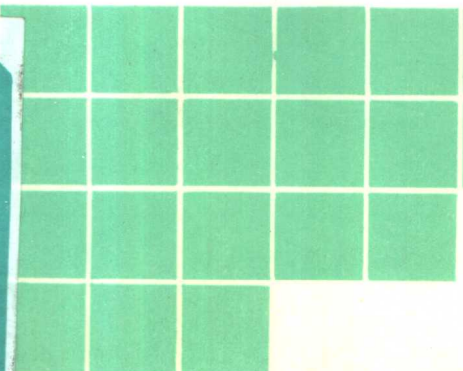




管理系统模拟 的方法及应用

黄卫伟 编著



管理系统模拟的 方法及应用

管理系统模拟的方法及应用

黄卫伟 编著

中国人民大学出版社出版发行

(北京西郊海淀路39号)

中国人民大学出版社印刷厂印刷

(北京鼓楼西大街石桥胡同61号)

新华书店经销

开本: 850×1168毫米32开 印张: 12

1991年8月第1版 1991年8月第1次印刷

字数: 290千字 册数: 1-3000

ISBN 7-300-00983-2

F·285 定价: 4.80元

前 言

管理系统模拟是近30年来迅速发展起来的一门管理科学、数学和计算技术相结合的新兴学科，是系统工程和计算机应用的一个重要分支。其应用范围遍及宏观经济管理和微观经济管理以及政府管理、城市管理、环境保护等各种各样的管理领域，特别是在社会经济系统的政策分析和运行机制研究、区域开发规划、企业管理系统的分析与设计、管理计划与管理决策的优化和风险分析等方面的应用效果十分显著，它已成为现代化管理不可缺少的一种强有力技术。

本书是我近年来在中国人民大学工业经济系讲授《管理系统的计算机模拟》课程教材的基础上整理扩充而成的。本书的宗旨是比较系统地阐述管理系统模拟的方法，以及如何应用系统模拟方法研究和解决社会经济系统管理和企业管理中的各种复杂问题。我力图使本书的内容能为具有初步概率、统计和计算机程序设计知识的人所理解，在编写过程中尽量做到原理和方法的阐述深入浅出，文字叙述通俗易懂。书中编有大量的例题、图例和习题，其一方面取自系统模拟领域的权威性专著，一方面取自作者本人近年来的实际应用课题。书后还附有供进一步深入研究所需的重要参考书目。因此，本书不仅可作为财经和工科院校管理专业的教科书，而且便于读者自学。

全书共分为八章。第一章阐述管理系统模拟的概念和步骤，强调模拟方法与解析方法的区别以及模拟方法的优点。第二章综述了产生随机数和随机变量的常用算法。第三、四、五章分别讨

论了连续系统模拟和离散事件系统模拟的建模和程序设计方法，并结合方法的讨论较详细地介绍了两种常用的专用模拟程序设计语言的使用，这两种语言是DYNAMO和GPSS，它们的微机编译软件目前国内已开始普及。从第六章起，转入对模拟输出分析的讨论，由于实际应用中存在着忽视输出分析的倾向，因此特别加强了这一章的内容。第七章介绍了几种常用的缩减方差技巧。第八章概述了模拟试验设计及优化的主要方法，并重点阐述了具有很实用意义的 2^{k-p} 部分析因设计方法。限于篇幅，将有关输入概率分布的确定以及模型确认的内容压缩分为两节，分别并入第二章和第三章中。

本书可作为财经院校和工科院校企业管理专业、信息管理专业、管理工程专业和系统工程专业本科生和研究生计算机模拟课程的教材和参考书，也可作为工商企业和政府部门中从事规划、系统分析、现代化管理和计算机应用人员的参考书和自学教材。

在本书的编写过程中，得到中国人民大学工业经济系管理系统工程教研室全体同志的关怀，邓志刚教授审阅了全部书稿并提出了宝贵的修改意见，施礼明副教授和汪星明副教授对本书的编写和出版给予了热情的支持、帮助和指导，在此谨向他们表示深切的谢意。我也很感激中国人民大学出版社陈宏同志和人民邮电出版社高坦弟同志，由于他们的精心编辑，使得本书能以更完美的形式呈献给读者。

由于我的水平所限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者指正。

本书受国家社会科学基金资助。

编 著 者

1989年7月

目 录

第一章 导论.....	1
第一节 系统与模型.....	1
第二节 系统模拟的概念.....	7
第三节 系统模拟的步骤.....	23
第四节 系统模拟在管理中的应用.....	26
习 题	29
第二章 随机数和随机变量的产生.....	32
第一节 伪随机数的产生.....	32
第二节 产生规定分布的随机变量.....	42
第三节 确定输入数据的概率分布.....	74
习 题	82
第三章 系统动力学.....	85
第一节 概述.....	85
第二节 系统动力学模型.....	93
第三节 模型的确认.....	110
第四节 企业管理系统模型.....	113
第五节 区域开发系统模型.....	142
习 题	150
第四章 离散事件系统模拟概述.....	152

第一节	离散事件系统模拟的主要方法.....	152
第二节	事件表的组织与查找方法.....	171
第三节	离散事件系统模拟程序的基本结构.....	184
第四节	离散事件系统模拟语言简介.....	204
习 题		213
第五章	GPSS语言.....	215
第一节	GPSS的基本概念.....	215
第二节	GPSS子集.....	229
第三节	程序设计实例.....	256
第四节	GPSS模拟算法执行过程的考察.....	281
习 题		284
第六章	模拟数据的收集与分析.....	288
第一节	系统性能测度的估计.....	289
第二节	重复运行法.....	296
第三节	终止规则和序贯估计.....	298
第四节	批平均值法.....	301
第五节	自回归法.....	306
第六节	再生法.....	312
第七节	不同系统输出特性的比较.....	318
习 题		324
第七章	缩减方差技巧.....	326
第一节	公共随机数法.....	327
第二节	对偶变量法.....	330
第三节	控制变量法.....	335
第四节	间接估计法.....	339

习 题	341
第八章 模拟试验设计与优化	342
第一节 2^k 完全析因设计	343
第二节 2^{k-p} 部分析因设计	352
第三节 响应曲面法	363
习 题	373
参考文献	374

第一章 导 论

第一节 系统与模型

一、系统的定义

采用计算机模拟的方法研究管理问题，首先要将研究对象看作一个系统。

所谓系统，就是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体，这个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。而管理系统是泛指那些受到管理机构的计划和政策的指导和控制的系统。符合这一定义的管理系统，不仅包括各种企业系统，而且包括社会系统、宏观经济系统等众多的复杂系统。

从系统的定义可以看出，系统一般具有以下特性：

1. 集合性。

一个系统至少由两个以上的可以相互区别的要素（或称子系统）所组成。组成系统的各个要素既具有相对的独立性，又相互作用、相互依赖，构成一个不可分割的整体。要素之间既相互独立又相互联系的特点，提供了将子系统分离出来单独进行研究的可能性，以及在子系统模型的基础上构造整体系统模型的可能性。

2. 关联性。

所谓关联性，指构成系统的各要素之间相互依赖和相互制约。这里，值得注意的是相互作用的“媒介”和相互作用的“结

构”。媒介可以是物质、能量、人员、资金、信息等，结构又分为空间结构和时间结构。这些通常是构造系统的动态模型时需要考虑的重要因素。

3.目的性。

任何系统无不具有目的性，无论是自然系统还是人工系统。自然系统的目的性反映了系统内在的客观必然性，人工系统的目的性体现着人们对客观规律的认识和运用。管理系统大多是一种复合系统，其目的往往是由人们规定的，但也必须体现管理系统本身和其所处的环境的客观规律。

目的性的另一重要含义是：规定整体系统和各个子系统所履行的特定功能，以使系统的整体功能最大化。由于系统不是由各个要素简单地迭加在一起的，而是一个有机的整体，所以，系统整体的功能大于所有子系统的功能之和。换言之，只有当系统整体的功能大于子系统功能之和时，系统才能够存在下去。否则系统将趋向于分化成一些更小的系统。

由于组成系统的要素和子系统具有相对的独立性，因而存在着子系统片面追求自身目标的最优化，而影响系统整体目标的最优化的可能性。这种现象被称为“次优化”。因为任何管理系统都是它所从属的更大系统的一个子系统，所以，次优化实际上是管理系统普遍存在的一个根本性的问题。解决这个问题的关键，是如何设立和协调管理系统的全局目标和子系统的局部目标。

次优化也是系统模拟中可能出现的一个问题。为了防止出现次优化，系统分析人员在确定系统目标时，应从更高和更广泛的角度出发考虑问题。

4.环境适应性。

系统的外界联系就是环境。系统总是处于一定的环境之中，环境可以看作是一种更高级的系统。环境的变化对系统有很大影响，在某些情况下，它会限制系统功能的发挥。因此，有时又将

环境看作系统的外部约束条件。

系统要存在和发展，就必须与环境进行物质的、能量的和信息的交换，换言之，系统必须是开放的。这里环境对系统的作用表现为系统的输入，而系统对环境的作用表现为系统的输出。把一定的输入转换为输出，就是系统的主要功能。所以，又可将系统看作将输入转换为输出的转换机构。此外，系统要生存和发展还必须维持自身的相对稳定，这就要求在系统内部建立负反馈的调节回路。多重反馈回路是决定系统动态行为模式的主要因素，是系统的一种重要的结构。

认识系统将输入转换为输出的转换机理，通常是系统模拟研究的主要目的。这就需要深入分析系统的内部结构以及子系统间相互作用的性质，并将其描述为一定的模型。此外，在模型中还要反映环境对系统的影响。这样的模型称为系统模型。

构造一个适当的系统模型是系统模拟中最重要和最困难的环节之一。

二、系统的分类

我们仅从系统模拟研究的需要出发，对管理系统进行分类。

1. 确定性系统和随机系统。

按照系统输入与输出之间的关系，可以将系统分为确定性系统和随机系统。

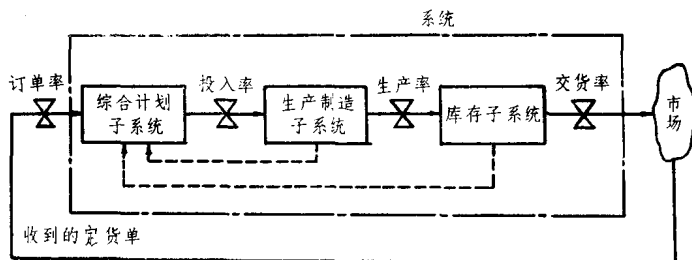
确定性系统是指输出完全由系统的输入以及相应的转换关系（包括决策、措施等）所决定的系统。这里，系统的输入、转换关系和输出都是确定的，只要知道输入，就可预先确定系统的输出。

随机系统在既定的输入下，系统的输出是非确定的，带有随机的性质。产生随机性的原因是由于在系统的输入过程和转换过程中存在多种难以预知的偶然因素的作用。然而，尽管随机系统的输出不能完全预知，但它们通常遵循一定的统计分布规律。确

定系统输出（或输入）的统计分布以及对系统的输出进行估计，是系统模拟的主要任务之一。

大多数管理系统都属于随机系统。对于这类系统，当其复杂性超过一定限度时，运用数学解析方法建立系统模型并求解往往是很困难的，甚至是不可能的。在这种情况下，系统模拟方法就显出其优越性。

需要指出的是，把一个实际的管理系统看作确定性系统还是看作随机系统，取决于研究的目的和手段。例如，对于图 1.1 所示的系统，如果研究的目的是系统对市场订货变化（突然增加或减少）的动态响应过程的特性，就可以将系统作为确定性系统来



注：虚线表示信息反馈。

图 1.1 简单的订货——生产——库存——销售系统

处理，即将定单率、投入率、生产率、交货率看作常数或与相应的累积量成正比的量。而如果研究的目的是系统如何适应市场需求的不断变化并保持自身的相对稳定，就应将系统看作随机系统，也就是将定单率、生产率等看作随机变量。

一般来说，如果是研究系统的结构、作用机理，就可以将系统看作是确定性的。而若是研究系统的参数优化、作业计划的合理安排以及预测等，通常应将系统看作是随机的。确定性假定的简化程度高，而随机性假定更接近真实情况。

2. 连续系统和离散系统。

按照系统状态随时间变化的性质，可以将系统区分为连续系统和离散系统。连续系统的状态是随时间连续变化的，可以用微分方程来描述；离散系统的状态变化只是发生在一些离散的时点上，一般可以用差分方程来描述。

从系统模拟的角度来看，通常将状态随时间连续变化或只在均匀的离散时点上变化的系统都看作连续系统，而把那些在非均匀离散时点上发生状态变化的系统看作离散系统。按照系统模拟的术语，称状态的瞬间变化为事件，将发生事件的时刻称为事件时间。如果事件时间是一些非均匀离散时点，这样的事件称为离散事件，相应的系统称为离散事件系统。在系统模拟中，凡提到离散系统时，如不特别说明，都是指的离散事件系统。

实际的管理系统大多是一些复合系统。在系统模拟研究中将其看作连续系统还是离散系统也取决于研究目的。例如对图 1.1 所示的系统，若研究的目的是考察系统动态响应的模式（指数增长、振荡、稳定性等），就适宜将系统作为连续系统来处理；如果研究的目的是生产制造子系统加工顺序的合理安排，以便能够按期履行订货合同，并使得设备利用率尽可能提高，那就适宜将系统作为离散系统来处理。这样，可以按一定的分布产生订货单和每份订单的订货数量，追踪每一份订单的制造和交货过程，从大量的模拟试验中得出最佳排序准则和期量标准。

一般来说，若研究对象是宏观系统，或研究的目的是系统动态行为模式及其结构原因，就适宜将系统看作连续系统；若研究对象是微观系统或研究的目的是处理过程的优化和参数的优化等，就适宜将系统作为离散系统来处理。

3. 线性系统和非线性系统。

根据系统要素之间相互作用的性质，可以将管理系统分为线性系统和非线性系统。由于要素之间的关系最终会影响到系统输入与输出之间的依赖关系，所以，只要系统中含有非线性环节，

就是非线性系统。

实际的管理系统大多是非线性系统，而将其看作线性系统不过是一种抽象和简化。线性系统模型比较简单，可以应用业已成熟的线性系统分析方法进行研究。由于线性模型在建模、分析和求解方面的优点，我们在构造系统模型时，总是尽可能地使之线性化，即使对于一些无法将其完全线性化的非线性关系，我们也设法使之分段线性化。但这种线性化的简化不应改变系统原有的主要特性，由此引入的误差不应超过允许的限度。

是否要作线性假设，主要取决于研究目的和可能采用的研究方法。

一般来说，构造系统的解析模型并试图求得解析解时，线性的假设是必不可少的，而采用系统模拟方法将不受这种限制。有时，在模拟模型中引入一些关键的非线性关系，将使模型的输出更丰富和更接近实际系统，从而使得分析的结论更可靠。

三、模型

要研究一个系统，可能的话最好直接对系统进行试验。但绝大多数情况是系统还未构造出来，或者对实际系统进行试验是代价昂贵的，甚至是不可能的，这时，就需要构造系统的模型，以便借助模型对系统进行研究。系统模拟，简单地说就是利用模型在计算机上做试验。

一般认为，模型是对实际系统的一种描述，它是由那些与研究目的有关的因素构成的，它体现了诸因素之间的关系。在绝大多数情况下，并不需要考虑系统的一切细节，因此，模型不只是对系统的描述，而且是对系统的抽象概括和简化。不使模型的复杂程度超过对模型的要求，应当作为构造模型的一般原则。

按系统模拟的观点，可以对模型进行以下的简单分类，参见图1.2。

物理模型是指用实物构造的模型，如R—L—C电路、风洞

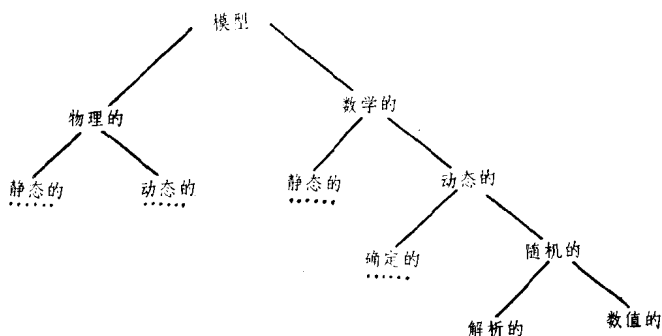


图1.2 模型的分类

等。数学模型是用符号和方程式来表示一个系统。系统模拟模型一般是动态的、随机的和只能用数值方法求解的数学模型。

构造系统模型是一个对系统进行抽象的过程，要进行抽象总离不开一定的观点和概念，构造系统模型总要依据某种构模观点。所谓构模观点就是看问题的方法，它是构造模型的一套描述和分析问题的观点、概念和方法的总称。采用不同的构模观点，会将系统抽象为不同的形式，得出不同的模型。这里显然有一个选择的问题。在构造系统模型时，一定要注意所采用的构模观点是否适合研究对象的性质及研究目的的要求。关于构模观点，将在叙述连续系统和离散事件系统的模拟方法时详细讨论。

第二节 系统模拟的概念

一、系统模拟的定义

上一节中已经未加说明地多次使用过系统模拟的概念，那什么是系统模拟呢？

系统模拟是一种用数值方法求解动态系统模型的过程。它从某个初始状态开始，按照时间的进程，一步一步地求解，最后得

到系统模型的一个特解。每步计算的结果，都是实际系统在相应时点上的一种可能的状态。

由于每次模拟的结果只是系统模型的一个特解，故要得到系统模型在可能的初始状态下的全部解答，就必须反复多次地运行模型。如果模拟的是随机系统，为了得到一个独立的样本观察值，以便对系统的某个性能测度进行估计，同样需要独立地重复运行模型。如果研究的目的是为了获取系统的一组最佳参数，则不仅需要通过独立重复运行模型以便对参数进行估计，还需要对设计方案的不同参数组合分别进行模拟，以便从中选优。由此可见，系统模拟是在计算机上用某个实际系统的模型进行试验的过程，系统模拟技术是一种实验技术。

管理系统模拟就是用系统模拟方法研究管理问题，或者说是管理系统用计算机进行模拟研究。这里，模拟既可用于分析的目的，也可用于设计的目的。可以这样认为，管理系统模拟是一门数学、管理科学和计算机模拟技术相结合的学科，是计算机在管理中应用的一个重要领域，是“管理的实验室”。

为了进一步了解系统模拟的特点，下面举一个简单的离散系统模拟的例子，并将其与数学解析方法作比较。

二、系统模拟与解析方法的比较

例1.1 单队单服务台排队系统。

1.问题描述。

某储蓄所设有一个活期存（取）款台，每天到这里存（取）款的顾客是随机到来的，所有的活期存（取）款业务可以看作是由一个专门的出纳员统一办理。储蓄所营业以来，业务量呈现出日益增加的趋势，管理部门想要了解办理活期存（取）款业务的工作人员的负担，以及顾客的排队等候情况，以便决定是否需要增设一个业务台或是增加业务人员。

2.系统分析。

这是一个单队、单服务台的排队系统。顾客源是无限的，顾客单个到来，相互独立，对队列长度没有限制，实行先来先服务的规则。初步收集到的数据表明，顾客到达的间隔时间近似服从负指数分布，其平均值为5分钟；顾客的服务时间可看作相互独立，服务时间也是随机的，近似服从平均值为4分钟的负指数分布。因此，此系统可看作标准的M/M/1系统。根据排队论可直接得出系统的分析结果，此外，也可采用模拟方法对系统进行研究。为了说明系统模拟与解析方法的区别，我们下面分别用这两种方法对系统进行分析。

3. 标准的M/M/1系统模型及其解析解^①。

由于在任意时刻 t ，系统中有 n 个顾客的概率 $P_n(t)$ 完全决定了系统的运行特征，所以，标准的M/M/1系统的模型实际是关于 $P_n(t)$ 的微分差分方程。

因已知到达间隔时间服从参数为 λ (λ 为到达率，是平均到达间隔时间的倒数)的负指数分布，即到达规律服从参数为 λ 的普阿松过程；服务时间服从参数为 μ (μ 为服务率，是平均服务时间的倒数)的负指数分布。所以，在 $[t, t + \Delta t]$ 区间内：

(1) 有一个顾客到达的概率为 $\lambda \Delta t + o(\Delta t)$ ，没有顾客到达的概率就是 $1 - \lambda \Delta t + o(\Delta t)$ ；

(2) 当有顾客在接受服务时，一个顾客被服务完了(离去的概率是 $\mu \Delta t + o(\Delta t)$)，没有离去的概率就是 $1 - \mu \Delta t + o(\Delta t)$ ；

(3) 多于一个顾客到达或离去的概率是 $o(\Delta t)$ ，为高阶无穷小，是可以忽略的。^②

在时刻 $t + \Delta t$ ，系统中有 n 个顾客，不外四种情况，如表1.1所示：

① 参阅参考文献[17]，第374页。

② 由普阿松过程的假定可得到此结果，见上书第365—366页。