



工业和信息化部“十二五”规划教材

# 管理建模与仿真

GUANLI JIANMO YU FANGZHEN

主编 姜金贵

HEUP 哈尔滨工程大学出版社



工业和信息化部“十二五”规划教材

# 管理建模与仿真

GUANLI JIANMO YU FANGZHEN

主编 姜金贵

副主编 宋 艳 杜 蓉

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

## 内 容 简 介

本书的特色是突出建模与仿真方法在管理领域中的应用,强化案例分析与操作,致力于提高读者的实践操作能力。本书将管理科学问题进行分类总结,在阐述系统建模、系统仿真等概念、内涵、基本理论、基本方法与技术的基础上,重点围绕基于 MATLAB 和 NetLogo 两种工具软件的管理科学问题的建模与仿真进行了详细实例讲解与分析。在 MATLAB 工具软件应用部分,主要围绕管理领域中的预测问题、分类问题、评价问题、最优化问题等,对包括神经网络、灰色系统、层次分析法、遗传算法、模拟退火算法、粒子群算法等在内的建模仿真方法的基本原理、应用步骤、实例、程序代码等进行了详细讲解;在 NetLogo 工具软件部分,强调了建模仿真技术的操作性,通过层层深入的实例逐步明晰了该建模仿真技术的操作步骤,最后结合网络危机信息传播演化仿真这一综合实例系统地讲解了如何对某一管理科学问题进行模型构建与仿真。

本书不仅可以作为管理类研究生和高年级本科生的教科书,同时也适用于对管理建模与仿真方法和技术有兴趣的读者。

## 图书在版编目(CIP)数据

管理建模与仿真 / 姜金贵主编. -- 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2015.5

ISBN 978-7-5661-1005-3

I. ①管… II. ①姜… III. ①管理学-建立模型  
IV. ①C931

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 103510 号

选题策划 卢尚坤

责任编辑 张晓彤

封面设计 恒润设计

---

出版发行 哈尔滨工程大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号  
邮政编码 150001  
发行电话 0451-82519328  
传 真 0451-82519699  
经 销 新华书店  
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司  
开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16  
印 张 15.25  
字 数 397 千字  
版 次 2015 年 10 月第 1 版  
印 次 2015 年 10 月第 1 次印刷  
定 价 36.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

---

# 前 言

管理建模与仿真是一门综合运用管理知识、数学建模理论与方法、决策科学方法、现代计算机仿真技术研究解决管理实践问题的科学,是管理类专业的一门重要基础课程。本书是作者在长期的管理科学、建模与仿真领域的教学、科研实践基础上,对管理领域中主要研究问题进行的系统归纳总结,并广泛借鉴国内外管理建模与仿真方面文献凝练而形成的。书中将管理科学问题进行了分类总结,在阐述了系统建模、系统仿真等概念内涵、基本理论、基本方法与技术的基础上,重点围绕基于 MATLAB 和 NetLogo 两种工具软件的管理科学问题的建模与仿真结合实例进行了详细的讲解与分析。

本书中,在 MATLAB 工具软件应用部分,主要围绕管理领域中的预测问题、分类问题、评价问题、最优化问题等,对包括神经网络、灰色系统、层次分析法、遗传算法、模拟退火算法、粒子群算法等在内的建模仿真方法的基本原理、应用步骤、实例、程序代码等进行了详细讲解;在 NetLogo 工具软件部分,强调了建模仿真技术的操作性,通过层层深入的实例逐步明晰了该建模仿真技术的操作步骤,最后结合网络危机信息传播演化仿真这一综合实例系统地讲解了如何对某一管理科学问题进行模型构建与仿真。

本书不仅可以作为管理类研究生和高年级本科生的教科书,同时也适用于对管理建模与仿真方法和技术有兴趣的读者。本书的特色是,突出建模与仿真方法在管理领域中的应用,在系统梳理各类管理科学问题的基本原理、基本方法与流程的基础上,介绍了解决各类问题的建模与仿真方法及技术,并强化案例分析与操作,力图使读者能够通过案例的学习与操作做到触类旁通,从而掌握这些管理科学问题的建模与仿真方法,以便更好地应用到管理实践与科学研究。

在阐述方式上,本书力求简明扼要、深入浅出,运用大量的实例来讲解管理问题的建模与仿真技术及工具软件的使用,致力于提高读者的实践操作能力,为研究解决管理中出现的多类问题提供方法、技术、工具、实例的支持。

本书共分 9 章,其中第 1 章、第 2 章、第 7 章由宋艳执笔,第 3 章、第 5 章、第 6 章、第 8 章的 8.4 节、第 9 章的 9.1~9.3 节由姜金贵执笔,第 4 章、第 8 章的 8.1~8.3 节、第 9 章的 9.4~9.8 节由杜蓉执笔。全书最后由姜金贵负责统稿和审定。

本书的编写得到了工业和信息化部“十二五”规划教材基金资助,哈尔滨工程大学经济管理学院灾难与危机管理研究所团队的支持,在此向支持本书出版的领导、学者表示深深的谢意。

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请有关专家和广大读者批评指正。

编 者

2015 年 1 月

# 目录

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 第1章 导论 .....                       | 1   |
| 1.1 系统及其分类 .....                   | 1   |
| 1.2 系统建模 .....                     | 3   |
| 1.3 系统仿真 .....                     | 6   |
| 1.4 系统建模与仿真技术的应用 .....             | 8   |
| 第2章 建模的基本理论 .....                  | 10  |
| 2.1 建模的原则与模型的有效性 .....             | 10  |
| 2.2 演绎推理 .....                     | 12  |
| 2.3 系统辨识理论 .....                   | 14  |
| 2.4 相似理论 .....                     | 17  |
| 2.5 灰色系统理论 .....                   | 19  |
| 2.6 自组织理论 .....                    | 21  |
| 2.7 元胞自动机理论 .....                  | 25  |
| 第3章 仿真方法与技术 .....                  | 32  |
| 3.1 仿真技术的分类 .....                  | 32  |
| 3.2 仿真的一般过程 .....                  | 35  |
| 3.3 仿真技术的特点和作用 .....               | 37  |
| 3.4 仿真技术的应用 .....                  | 38  |
| 3.5 仿真技术的发展 .....                  | 39  |
| 第4章 MATLAB 基础 .....                | 41  |
| 4.1 MATLAB 的基本构成与操作 .....          | 41  |
| 4.2 变量与函数 .....                    | 50  |
| 4.3 矩阵及其运算 .....                   | 53  |
| 4.4 M 文件与编程 .....                  | 58  |
| 4.5 基本绘图函数及其操作 .....               | 59  |
| 第5章 神经网络模型及仿真 .....                | 79  |
| 5.1 人工神经网络基本理论 .....               | 79  |
| 5.2 BP 神经网络算法 .....                | 84  |
| 5.3 BP 神经网络的 MATLAB 工具箱 .....      | 86  |
| 5.4 组建神经网络的注意事项 .....              | 93  |
| 5.5 基于 MATLAB 工具箱的神经网络建模仿真实例 ..... | 96  |
| 第6章 灰色预测建模仿真 .....                 | 107 |
| 6.1 预测概述 .....                     | 107 |
| 6.2 灰色系统概论 .....                   | 119 |

|              |                                |            |
|--------------|--------------------------------|------------|
| 6.3          | 灰色预测模型 .....                   | 121        |
| 6.4          | 灰色预测的 MATLAB 建模仿真实例 .....      | 125        |
| <b>第 7 章</b> | <b>层次分析法建模仿真 .....</b>         | <b>134</b> |
| 7.1          | 评价概述 .....                     | 134        |
| 7.2          | 层次分析法的基本原理 .....               | 138        |
| 7.3          | 层次分析法的 MATLAB 建模仿真实例 .....     | 142        |
| <b>第 8 章</b> | <b>现代优化模型与仿真 .....</b>         | <b>146</b> |
| 8.1          | 最优化问题概述 .....                  | 146        |
| 8.2          | 遗传算法及其 MATLAB 仿真 .....         | 149        |
| 8.3          | 模拟退火算法及其 MATLAB 仿真 .....       | 159        |
| 8.4          | 粒子群算法及其 MATLAB 仿真 .....        | 166        |
| <b>第 9 章</b> | <b>复杂适应系统建模与仿真 .....</b>       | <b>174</b> |
| 9.1          | 复杂适应系统理论的基本观点与概念 .....         | 174        |
| 9.2          | 个体怎样适应和学习 .....                | 179        |
| 9.3          | 从个体到全局——回声模型 .....             | 180        |
| 9.4          | 复杂适应系统建模与仿真工具 NetLogo 简介 ..... | 183        |
| 9.5          | NetLogo 建模仿真框架 .....           | 186        |
| 9.6          | NetLogo 建模技术 .....             | 188        |
| 9.7          | NetLogo 建模仿真操作学习 .....         | 189        |
| 9.8          | 实例分析:网络危机信息传播的演化仿真 .....       | 212        |
| <b>参考文献</b>  | <b>.....</b>                   | <b>234</b> |

# 第1章 导 论

## 1.1 系统及其分类

### 1.1.1 系统的定义和特性

系统是由多个相互依赖、相互作用的要素按照某种规律组合起来、实现特定功能的有机整体,一个系统又可以由若干个子系统构成。系统有如下特征。

#### 1. 整体性

整体性是系统最基本与本质的特征。系统由两个或两个以上要素(或子系统)构成,各个组成部分具有一定的独立性,又相互构成一个有机整体,系统的整体性主要表现在系统的整体功能。例如,计算机系统一般由中央处理器(CPU)、存储器、输入与输出设备等硬件构成,同时还包括操作系统、应用程序、数据库等软件,硬件与软件共同构成一个整体,从而发挥出了计算机系统的功能。

#### 2. 相关性

各要素组成了系统,是因为它们之间存在相互联系、相互作用、相互影响的关系。这个关系也不是简单的累加,而是有可能地互相增强或互相减弱。一个要素的变化会这样或那样地引起全系统的变化。例如,构成人体的呼吸、消化、循环、排泄、神经等各组成部分通过特定的相互依存、相互制约关系有机地结合在一起,才使得人成为一种具有特殊高级功能和高度智慧的高等动物。如果某一器官出现了问题,就会影响其他部位器官的正常运行,从而导致人产生不舒服的感觉。

#### 3. 目的性

系统具有能使各个要素结合在一起的共同目的(这类系统又称为组织界系统),各子系统就是为了完成大系统的既定目标而协同工作的。系统的目的一般通过更具体的目标来体现,复杂的系统通常不止一个目的,而是多重目的。

#### 4. 阶层性

系统作为一个相互作用的诸要素的总体可以分解为一系列的子系统,并存在一定的层次结构。系统的阶层性表述了系统中不同层次子系统之间的从属关系或相互作用关系。在不同的层次结构中存在着动态的信息流和物质流,构成了系统的运动特性,为深入研究系统层次之间的控制与协调功能提供了条件。

#### 5. 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,从环境中接受各种影响(包括正常的输入和随机干扰),经过系统的转换,产生一定的输出,从而对外部环境产生一定的作用。外部环境及其影响是经常变化的,为了使系统达到最优化,必须对系统进行调节,使之适应环境的变化。

在定义一个系统时,首先要确定系统的边界。尽管世界上的事务是相互联系的,但当

我们研究某一对象时,总是要将该对象与其环境区别开来。边界确定了系统的范围,边界以外对系统的作用称为系统的输入,系统对边界以外的环境的作用称为系统的输出。

世界上的系统千差万别,但描述系统离不开“三个要素”,即实体、属性和活动。实体确定了该系统的构成,明确了描述一个系统的实体也就确定了系统的边界;属性也称为描述变量,描述每一实体的特征;活动定义了系统内部实体之间的相互作用,从而确定了系统内部发生变化的过程。

### 1.1.2 系统分类

系统的分类方法很多,按照不同的分类方法可以得到各种类型的系统。我们仅从建模与仿真研究的需要出发,对系统进行以下的分类。

#### 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,是系统仿真的主要任务之一。

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,运用数学分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。这种情况下,仿真方法就显示出其优越性。

#### 2. 连续系统和离散系统

在系统仿真中最重要的一种分类是按照系统中起主导作用的状态变量的变化是否连续,将系统分为连续系统和离散系统。我们把与特定时间和研究目的有关的描述系统所需变量的集合定义为系统的状态。例如,排队系统的研究中,状态变量可能是正忙着的服务员数、在系统中的顾客数以及每个顾客到达系统的时间。

连续系统是指系统的状态变量随时间变化而产生连续变化。这类系统的动态特性可以用微分方程或者一组状态方程来描述,也可以用一组差分方程或一组离散状态方程来描述。究竟采取哪一种描述方法,取决于研究者是对系统状态随时间连续变化的整个过程感兴趣,还是仅仅对某些时间点感兴趣,或者是所能得到的数据资料仅仅限于某些时间点。例如,在一些社会经济系统中,往往所能得到的数据也只有按月、季度,甚至是按年的。尽管这类系统实际的状态变化是连续的,但是也只能用差分方程和离散状态方程来描述。

离散系统是指系统的状态变量在某些离散的时间点瞬时变化。按照系统仿真的术语,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。

#### 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。



线性系统是状态变量和输出变量对于所有可能的输入变量和初始状态都满足叠加原理的系统。线性系统的状态变量(或输出变量)与输入变量间的因果关系可用一组线性微分方程或差分方程来描述,这种方程称为系统的数学模型。

一个系统,如果其输出不与其输入成正比,则它是非线性的。从数学上看,非线性系统的特征使叠加原理不再成立。叠加原理是指描述系统的方程的多个解之和仍为其解。叠加原理可以通过两种方式失效。其一,方程本身是非线性的;其二,方程本身虽然是线性的,但边界是未知的或运动的。

实际的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进行研究。由于线性模型在建模、分析和求解等方面的优点,我们在构造系统模型时,总是尽可能地使模型线性化,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征,由此引入的误差不应超过允许的限度。

## 1.2 系统建模

### 1.2.1 模型及其基本性质

在系统仿真中,被研究的实际系统或未来的想定系统称为原型,而原型的等效替身则称为模型。模型通常借助文字、符号、图表、实物或数学表达式等提供关于系统要素、要素间关系以及特征或变化规律的信息和知识。

有效的模型必须能够反映原型的主要表征、特性及功能,并具备如下性质。

#### 1. 普遍性

指模型能够描述多个相似系统。

#### 2. 相对精确性

指模型的近似度和精度都不可超出应有限度和许可条件。

过于粗糙的模型将失去原型的过多信息和特征;太精确的模型则易造成模型过于复杂而导致研究困难,甚至终不得其解。所以模型应具有考虑诸多条件折中下的精确性。

#### 3. 可信性

指模型必须经过校核、验证和确认,使其具有满意的可信度。

#### 4. 异构性

指对于同一个系统,模型可以具有不同形式和结构,即模型不是唯一的。

#### 5. 通过性

指模型可视为“黑箱”,能够利用输入/输出实验数据辨识出其结构和参数。

### 1.2.2 模型的分类

模型通常分为物理模型、概念模型和数学模型。

#### 1. 物理模型

定义:以实物或图形直观地表达对象特征所得的模型。

物理模型是根据一定的规则对系统进行简化、描述或按照一定比例缩小、放大而得到

的仿制品。通常要求物理模型与实物高度相似,能够逼真地描述实物原型。

如风洞实验所用的飞行器外形和船体外形、飞机模拟驾驶系统、人工模拟太空环境以及人工制作或绘制的 DNA 分子双螺旋结构模型等都是用来描述实物原型的物理模型。在大型水利工程、土木工程项目设计、施工或飞行器、轮船研制过程中,常常要运用物理模型。

## 2. 概念模型

定义:对现实世界及其活动进行概念抽象与描述的结果称为概念模型。

概念模型是基于人们的经验、知识背景和思维直觉形成的,是人的大脑活动的产物。概念模型基于对所研究系统相关概念的抽象并通过对抽象概念相互关系的概括和描述得到,通常用语言、符号、框图等形式表达。

概念模型可看成是现实世界到数学模型或计算机仿真系统的一个中间层次。

## 3. 数学模型

定义:用来描述系统要素之间以及系统与环境之间关系的数学表达式。

各种不同的数学表达式均可以作为数学模型的基本形式。数学模型主要用来描述系统运行行为特征和基本规律,是研究系统、认识系统的重要工具和手段。

数学建模的目标是要确定系统的模型形式、结构和参数,获得正确反映系统表征、特征和功能的最简数学表达式。

数学建模的过程可遵循如下步骤:

观察和分析实际系统→提出问题→做出假设→系统描述→构筑形式化模型→模型求解→模型有效性分析→修改模型→最终确认→模型使用。

### 1.2.3 建模方法与步骤

#### 1. 明确任务,建立概念模型

#### 2. 模型设计

- ①确定模型变量;
- ②设定模型的数学形式;
- ③分析模型参数的符号和大致的变化范围。

#### 3. 确定统计指标,收集、整理数据

对收集到的原始数据进行适当加工、整理才能用于建立模型。

数据加工整理包括甄别分类、汇总、归并、拆分、补缺、调整统计口径等,保证数据完整、准确、可靠,且满足可比性和一致性的要求。

常用的统计数据主要有以下三种分类方式。

##### (1)按计量尺度分类

##### ①分类数据

分类数据是对事物进行分类的结果,数据表现为类别,是用文字来表示的。如在描述人口性别中:可用“1”表示男性,“0”表示女性。

##### ②顺序数据

顺序数据也是对事物进行分类的结果,但这些类别是有顺序的。如产品等级可划分为一等品、二等品、三等品、次品等。

##### ③数值型数据

数值型数据是使用自然或度量单位对事物进行计量的结果,其结果表现为具体的



数值。

## (2) 按收集方法分类

### ① 观测数据

观测数据是通过调查或观测而收集到的数据,这类数据是在没有对事物人为的控制的前提下而得到的,有关社会经济现象的统计数据几乎都是观测数据。

### ② 实验数据

实验数据是在实验中控制实验对象而收集到的数据,如新药疗效实验。

## (3) 按时间状况分类

### ① 时间序列数据

时间序列数据是按照时间先后顺序排列的数据。时间频率一般取年、季度、月、日、时、分、秒等,同一模型中各个变量的事件频率应保持一致。

### ② 截面数据

截面数据是指不同观测对象在某一时间的观测数据,如人口普查数据、审计调查数据等。

### ③ 面板数据(Panel Data)

面板数据是截面数据与时间序列数据的综合。其有时间序列和截面两个维度,当这类数据按两个维度排列时,是排在一个平面上,与只有一个维度的数据排在一条线上有着明显的不同,整个表格像是一个面板。

## 4. 估计模型参数

在数据收集、整理工作完成之后,即可将数据用于估计模型参数。一般可根据经济变量的性质、不同估计方法的特性、方法本身的难易程度和所需费用等因素选择适当的估计方法对模型参数进行估计。

## 5. 模型检验

模型检验是对已得到的参数估计值进行评价,研究其在理论上是否有意义,统计上是否显著,进而研究模型是否正确反映系统诸要素之间的关系。只有通过检验的模型才能应用于实际系统分析。常用的检验方法有以下几种。

### (1) 经济意义检验

经济意义检验主要是检验参数估计值的符号及大小在经济意义上是否合理。例如,在需求函数中,需求量一般与收入正相关、与价格负相关,因此收入变量的参数估计值应为正值,价格变量的参数估计值应为负值;在消费函数中,消费一般随着收入的提高而上升,且消费的增幅通常会低于收入的增幅,因此收入变量的参数估计值应在 $0 \sim 1$ 之间。如果参数估计值与经济理论不相符,则应分析原因并采取相应的办法加以解决。

### (2) 统计学检验

统计学检验主要是根据数理统计学中的统计推断准则,对模型的可靠性进行检验。常用的统计学检验方法有拟合优度检验、t 检验、F 检验,分别用来检验模型和解释变量估计值的显著性。必须指出,统计学检验是为模型的经济意义服务的,对于一个违背经济理论的模型,不必进行统计学检验。

### (3) 计量经济学检验

计量经济学检验主要是以数理统计为基础发展起来的一类检验方法,用于检验模型的计量经济学性质。例如,回归方程的假设条件检验,模型的识别性检验等。常用的计量经

济学方法主要有关于随机扰动项序列相关性的检验、异方差检验和解释变量多重共线性检验等。

#### (4) 预测性能检验

预测性能检验侧重于检验模型的稳定性,以及模型对样本期之外客观事实的描述和推断能力,即模型的超样本特性。具体检验方法如下:

①增加样本容量或更换新的样本数据重新估计模型参数,将新的估计值与原估计值比较,并检验二者间是否有显著差异。

②利用所建立的模型对样本期之外某一时期进行预测,通过比较预测值与实际值的误差,检验模型的预测能力。

#### 6. 模型应用

通过检验的模型可视为实际系统的缩影,因此可据此对实际系统进行研究。

## 1.3 系统仿真

### 1.3.1 系统仿真的定义

“仿真”一词译自英文 Simulation,也称为“模拟”。1961年 G. W. Morgenthler 首次对“仿真”一词做了技术性的解释,他认为“仿真”意指在实际系统尚不存在的情况下,对于系统或活动本质的实现。

1978年,科恩(Korn)在《连续系统仿真》一书中给出技术性定义:“用能代表所研究的系统的模型做实验”。1982年,斯普瑞特(Spriet)进一步将仿真的内涵加以扩充:“所有支持模型建立与模型分析的活动即为仿真活动”。1984年,奥伦(Oren)给出了仿真的基本概念框架:“建模—实验—分析”,如图1-1所示。

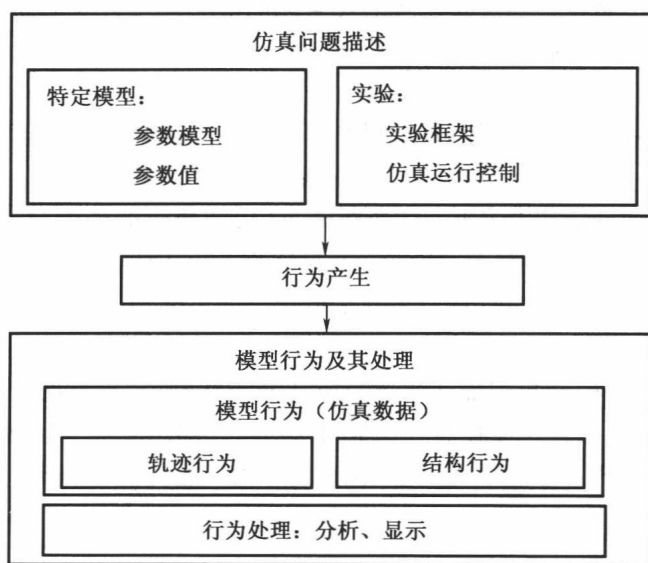


图 1-1 仿真的概念框架



### 1.3.2 系统、模型、仿真三者之间的关系

“系统、模型、仿真”三者之间联系密切。系统是研究的对象;模型是系统的抽象,是实际系统的替代物和模仿品;仿真则是基于系统建模和实验分析研究系统的过程。

这里我们将系统仿真定义为:通过对替代物或模仿品的实验分析对与之相似的原型系统进行研究的过程。

系统仿真技术随着计算机技术的发展而迅速发展。例如,将按一定比例缩小的飞行器模型置于风洞中吹风,测出飞行器的升力、阻力、力矩等特性;要建设一个大水电站,先建一个规模缩小的小水电站来取得建设水电站的经验及其运行规律;指挥员利用沙盘来指挥一个战役或一个战斗。

系统仿真是分析和研究各种(复杂)系统的重要工具。

计算机仿真技术的三要素及基本活动如图 1-2 所示。

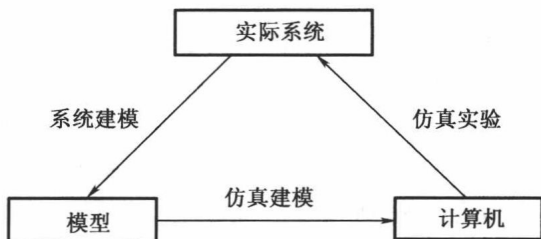


图 1-2 计算机仿真的三要素及三个基本活动

“系统建模”:系统辨识技术范畴。

“仿真建模”:即针对不同形式的系统模型研究其求解算法。

“仿真实验”:包括检验和致效。

检验(Verification)——“仿真程序”的检验;

致效(Validation)——将仿真结果与实际系统的行为进行比较。

现代仿真技术将仿真活动扩展到上述三个方面,并将其统一到同一环境中。

#### 1. 系统建模

系统建模是通过对实际系统的观测或检测,在忽略次要因素及不可检测变量的基础上,用物理或数学逻辑的方法进行描述,从而获得实际系统的简化近似模型。

#### 2. 仿真建模

仿真建模反映了系统模型(简化模型)同仿真器或计算机之间的关系,它应能为计算机所接受,并能进行运行。因此仿真建模就是对系统的数学模型进行一定的算法处理,使其在变成合适的形式之后能在计算机上进行数字仿真的“可计算/可执行模型”。

#### 3. 仿真实验

仿真实验是指在计算机上通过对模型的不断运行、分析其结果,进一步认识系统,得到问题解答的过程。

## 1.4 系统建模与仿真技术的应用

系统建模与仿真技术的突出优点在于,能够在一个系统实际运行之前对它的运行性能进行模拟,并在不干扰实际系统的情况下比较各种方案的优劣,为决策提供科学依据。应用系统建模与仿真技术,人们可以用较小的投资大幅度降低决策风险。

应用上的可靠性和经济性以及计算机技术的突飞猛进,推动了系统建模与仿真技术的广泛和大规模应用。尤其是对投资大、风险大的大型项目,如航空、航天、战略武器系统、计算机集成制造、并行工程等领域,其应用效益非常显著。

### 1.4.1 航空航天领域

航空航天领域产品十分复杂且造价昂贵,具有投资大、风险大等大型项目的典型特征。人们正是在经历沉痛的失败教训之后才开始认识到系统仿真实验体系的重要性。例如,美国航空宇航局 1958 年进行了四次人造卫星发射,全部以失败而告终,1959 年发射成功率也仅为 57%。通过不断总结经验教训,为有效化解风险,提高项目成功概率,美国航空宇航局逐步建立了一套发射系统仿真实验体系,使发射成功率迅速提高。20 世纪 60 年代发射成功率已达 79%,到 20 世纪 70 年代达到 91%。随着空间发射系统仿真实验体系的逐步完善,美国的空间发射计划失败的情形近年来已经很少发生了。据测算,飞机研制项目采用系统仿真技术,通常可使研制投入减少 20% 左右,同时研制周期缩短 10% 以上。

### 1.4.2 电力工业

随着单元发电机组容量的不断增加,电力系统成为一个高度复杂的系统,人们对电力系统运行安全性、稳定性的要求也越来越高。因此,电站仿真系统已成为电站建设和运行管理中必不可少的配套装备,同时,系统仿真技术也是优化电力系统负荷配置、实现瞬态稳定性控制、确保系统安全运行的重要手段。

### 1.4.3 石油、化工、冶金工业

由于石油、化工、冶金工业生产过程十分复杂,产品设计、工业流程规划、生产计划安排、生产过程控制、产品性能分析和质量检验、原材料、产品的物流和库存管理等,涉及的因素众多,系统仿真技术在提高石油、化工、冶金工业生产和管理效率方面发挥了重要作用。

### 1.4.4 政策仿真

政策仿真是信息时代多学科交叉的产物,已被广泛应用于国家发展政策、地方社会经济政策和企业发展政策制定等方面。人们通过建模、仿真辅助决策部门完成政策方案的制定和政策效果的评估,起到对历史发展政策进行反思、对现实发展过程进行监测预警、对未来发展前景进行预测分析的功效。

美国、澳大利亚、加拿大、日本、德国等国家都曾投入大量资金建立了具有一定规模的仿真系统,对进出口、投资、消费、汇率、利率、能源、环境、就业、住房、技术变化、财政、税收、人口政策、社会福利、农业政策等进行仿真分析,为政府决策提供支持。近年来,我国学者



和政府决策咨询机构在政策仿真系统研究开发领域也开展了富有成效的工作。

#### 1.4.5 经济安全分析

2009年初,美国国防部在马里兰米德堡军事基地的战争分析实验室内组织进行了一场模拟经济大战。巨幅电视墙上,经济形势瞬息万变:“朝鲜瓦解、俄罗斯垄断天然气价格、台湾海峡形势危急……”V型台前,代表美国、俄罗斯、中国、东亚和世界其他国家的5队人马,为争夺世界经济主导权展开经济博弈。

这场模拟的经济大战是美国五角大楼首次举行的以经济安全为主题的军事演习。美国《政治周报》网站2009年4月9日披露了演习的部分内容。据报道,演习计划早在2008年9月全球金融危机爆发前就已制订,而金融危机的蔓延更凸显了这次演习的重要性。参加演练的包括对冲基金经理、大学专家、投资银行高管等,他们被分成5支队伍,在世界面临经济灾难时模拟各方表现。另外,还有一组人担任裁判,评估各方行为的后果。他们的一举一动都被美军和情报人员记录下来并进行详细分析。《政治周报》评论说,对经济战的模拟绝非科幻,它反映出“9·11”事件之后,美军为捍卫美国的世界地位考虑的范围越来越广泛,五角大楼开始运用军事思维研究大国间的经济冲突。五角大楼模拟经济战反映了美国国内一部分人对美国国家经济安全的担忧。

## 第 2 章 建模的基本理论

### 2.1 建模的原则与模型的有效性

#### 2.1.1 建模的原则

建立能够较全面、集中、精确地反映系统的状态、本质特征和变化规律的模型是系统建模的关键。事实上,能够直接用数学公式描述的事物是很有限的。因此,在大多数情况下数学模型不可能与实际现象完全吻合。为保证模型尽可能逼近实际系统,建立模型应遵循以下原则。

##### 1. 简单性

从实用的观点看,由于在建模过程中忽略了一些次要因素和某些非可测变量的影响,因此,实际的模型已是一个简化了的近似模型。一般而言,在实用的前提下,模型越简单越好。

##### 2. 清晰性

一个复杂的系统是由许多子系统组成的,因此对应的系统模型也是由许多子模型构成的。建立模型时,在子模型之间除为了研究目的所必需的信息联系外,互相耦合要尽可能少,结构尽可能清晰。

##### 3. 相关性

模型中应该只包括系统中与研究目的有关的那些信息。虽然与研究目的无关的信息包括在系统模型中可能不会有很大的危害,但是它会增加模型的复杂性,从而使得在求解模型时增加额外的工作,所以应该把与研究目的无关的信息尽量排除在外。

##### 4. 准确性

建立模型时,应该考虑所收集的、用以建立模型的信息的准确性,包括确认所对应的原理和理论的正确性及其使用范围,同时检验建模过程中针对系统所作的假设的正确性。

##### 5. 可辨识性

模型结构必须具有可辨识的形式。所谓可辨识性是指系统的模型必须有确定的描述或表示方式,而在这种描述方式下与系统性质有关的参数必须具有可识别的解。若一个模型结构中具有无法估计的参数,则此模型就无实用价值。

##### 6. 集合性

建立模型还需要进一步考虑的一个因素,是模型的集合性,亦即是否能够把若干个实体组成更大的实体。例如,对防空导弹系统的研究,除了能够研究每枚导弹的发射细节和飞行规律之外还可以综合计算多枚导弹发射时的作战效能。



## 2.1.2 模型的有效性

### 2.1.2.1 模型的可信度

模型的可信度本身是一个非常复杂的问题,它一方面取决于模型的种类,另一方面又取决于模型的构造过程。根据构造模型的难易程度,通常可以把模型的可信度水平分为三种:

①在行为水平上的可信度,即模型是否能复现真实系统的行为。

②在状态结构水平上的可信度,即模型能否与真实系统在状态上互相对应,通过这样的模型对未来的行为进行有效的预测。

③在分解结构水平上的可信度,即模型能否表达真实系统内部的工作情况。

有时这些可信度水平又分别称为重复性、重复程度和重构性。查看这些情况的一条可行途径是将每个水平视为一种对真实系统知识的索取。随着认识水平的提高,这种索取变得更加强烈。

不论在哪一种可信性水平上,都应当充分考虑在整个建模过程中及以后各阶段的可信性。

#### 1. 在演绎中的可信性

演绎分析要求逻辑关系正确、数学过程严谨。在这种条件下,数学表示的可信性将取决于先验知识的可信性。而先验知识的可信性往往寓于正确性和普遍性之中,不易被认可和接受。数学模型的可信性还可以从以下两个途径进行分析:

①通过对前提条件正确性的研究来分析模型本身是否可信。

②通过对其他结果的验证来分析信息以及由此得到的模型的可信性。

#### 2. 在归纳中的可信性

首先,可以检查归纳程序是否符合逻辑关系正确、数学过程严谨的要求,然后通过对比模型行为与真实系统行为判断模型的可信性。

在检验过程中,可将真实系统视为数据源,通过观测输入输出,获得系统行为数据。真实系统的输入输出关系通常用  $R_1$  表示。由于有效的实验数据是有限的,即在某一时刻  $t$ ,能够观测、记录的数据仅仅是全部潜在的可获得数据的一部分,记作  $R_2$ 。

模型本身也是数据  $R_1$  的来源。在某一时刻  $t$ ,模型可信就意味着  $R_1 = R_2$ 。除此之外,还可以通过分析模型数据与真实系统数据的偏离程度来判断可信性。

对于具有某种统计特性的数据,或运用随机过程表示的模型,往往基于模型数据与真实系统数据的偏离程度判定其可信性。人们习惯于运用统计检验方法判断实际系统与模型之间的偏离程度。

#### 3. 在目的方面的可信性

从实践的观点出发,假如运用一个模型能达到预期的目的,那么这个模型就是成功的、可信的。

### 2.1.2.2 模型的验证

仿真结果的有效性取决于系统模型的可靠性。因此,模型验证是一个不可或缺的环节,甚至应贯穿于“系统建模—仿真实验”这一过程的始终,直到仿真实验取得满意的结果。