

J. A. 斯 普 里 特 著
G. C. 范斯蒂恩基斯特

计算机辅助建模和仿真

科学出版社



计算机辅助建模和仿真

J A 斯 普 里 特 著
G C. 范 斯 蒂 恩 基 斯 特
王正中 李伯虎 熊光楞 译

科学出版社

1991

3002/54

内 容 简 介

本书是第一本把计算机辅助建模与仿真融为一体进行讨论的著作，也是第一本系统讨论仿真方法学的基础著作。

全书共八章和一个附录。第一章为绪论；第二章讨论数学模型和建模原理；第三章讨论微分和差分方程的建模方法学；第四章讨论建立偏微分方程模型的方法学；第五章讨论模型信息存储及综合利用的方法学；第六章讨论辅助建模与仿真的语言；第七章讨论硬件的发展趋势及其对仿真的影响；第八章讨论由方法学的研究而产生的仿真系统及其结构。为了反映仿真技术近几年的发展情况，在附录中收入了译者最近发表的三篇文章。

本书可供从事系统工程、控制工程、系统仿真、计算机应用等方面工作的工程技术人员、科学工作者以及大专院校的师生参考。

J. A. Spriet G. C. Vansteenkiste
COMPUTER-AIDED MODELLING AND SIMULATION
Academic Press Inc., 1982

计算机辅助建模和仿真

J. A. 斯 普 里 特 著
G. C. 范斯蒂恩基斯特

王正中 李伯虎 熊光楞 译

责任编辑 李淑兰 鞠丽娜

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1991年4月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
1991年4月第一次印刷 印张: 21 1/2
印数: 0001—4 600 字数: 494 000

ISBN 7-03-001976-8/TP·149

定价: 18.30 元

译 者 的 话

本书作者 J. A. 斯普里特和 G. C. 范斯蒂恩基斯特是比利时 Ghent 大学应用数学和生物统计学系的教授。原书出版于 1982 年,其内容主要取材于 1980 年由 Ghent 大学举办的一次国际仿真学术讲座。该讲座属于国际计算机科学系列讲座之一,由比利时国家科学基金和 IBM 公司所支持。参加这次讲座的主讲人是国际仿真界的五位著名学者,他们代表了不同的研究领域:

W. J. Karplus 教授: 连续系统仿真

P.C. Young 教授: 仿真模型的辨识与估计

B. P. Zeigler 教授: 系统仿真方法学

W. K. Giloi 教授: 交互式程序设计系统体系结构

L. Dekker 教授: 并行仿真

作者在综合讲座内容的基础上,对内容进行了多方面的扩展与补充,其中也包括了作者本人的研究成果与观点。

译者根据此书的内容于 1985 年和 1986 年分别在清华大学和北京仿真中心举办了两次学术讨论班。1987 年,本书的作者之一, G. C. 范斯蒂恩基斯特教授还曾应译者的邀请访华讲学。译者所以对该书抱有如此的兴趣,其原因在于此书是第一本把计算机辅助建模与仿真融为一体进行讨论的著作,也是第一本系统讨论仿真方法学的著作,它突出了计算机建模(或实验建模)在系统仿真中的重要地位,对于系统仿真技术的发展产生了重要的影响。尽管仿真技术发展如此迅速,但作为一本仿真方法论的基础著作,译者仍然认为它具有现实的意义并乐意推荐给广大的仿真工作者和正在学习仿真技术的学生。为了对仿真技术近几年的发展情况有所补充,在本书的附录中收入了译者最近发表的三篇文章。

译者衷心希望,此书的翻译出版能为加强中国与欧洲仿真学术界的交流,推动我国系统仿真技术的研究与发展有所贡献。

作者为中译本写的序

本书为计算机仿真技术提供了一个基本的框架,对于 80 年代以来仿真技术发展的水平以及相应的数学和计算机工具进行了综合的描述,重点放在仿真技术发展中的新概念和新方法上。

展望 80 年代后期,人工智能与仿真技术的结合将成为对现实的挑战,贯穿于本书的基本思路就是以此为基础的。这种结合,其本质将是在人与仿真器之间提供一个更好的环境。

为了充实本书的内容,以反映近几年来的发展与变化,建议读者参考以下两篇文献:

- 1 “先进的信息处理对于仿真的影响”,该文刊登于《仿真》杂志,1986 年第 46 卷。
2. “人工智能辅助仿真”,该文刊登于 1986 年的 JSST 会议论文集。

前 言

解决复杂系统性能的管理与控制的问题正面临着越来越大的挑战。构造模型的研究方法反映了人类构思最本质的特征。因此,仿真对于改进决策支持的效果正在起着本质和最终的作用。

由于一个难得的机会,在 Ghent 大学组织了一个国际性的仿真讲座。其内容包含了建模与仿真的所有方面,代表这一领域不同方面的五位专家主持了这一讲座。

W. J. Karplus 综述了连续系统仿真的新方向;P.C. Young 着重于讨论仿真模型的辨识和估计;B. P. Zeigler 介绍了多面系统仿真方法学的发展;W.K. Giloi 报告了交互式程序设计系统的体系结构;L. Dekker 讨论了有关并行仿真的问题。

本书是对上述讲座的讲稿进行讨论和交流的一个综合。来自 Ghent 大学和 Delft 大学的科研工作者为此作出了贡献。作者意识到个人的观点对于本书的影响,因此他们将对本书的内容负全部责任。

全书贯穿了对建模与仿真的统一考虑,在概述之后,首先介绍建模的课题。第二章包括基本的和所要求的知识。模型的定义是基于 B.P. Zeigler 的讲稿。我们已经对建模的基础部分给予了加强和补充,并试图基于讲演者个人的观点,给出一个更完整的画面。第三章讨论基于线性微分方程的建模方法学,第四章讨论基于偏微分方程的建模方法学。第三章中有关辨识和递归参数估计的内容基于 P. C. Young 的部分讲稿,更为完整的论述及实例可参考 P.C. Young 的两本书,即《递归估计导论》及《递归估计及时间序列分析》。由 P. C. Young 发展的仪表变元估计方法已写入本书的 3.2.3 节至 3.2.6 节。有关的一些文献内容也在本书中有所反映,包括建模效率的基本考虑、可辨识性的概念、参数估计的一般原理及其它的一些估计程式、结构特性化技术、实验设计提示、框架定义及模型可信度。第四章的内容基于 W. J. Karpalus 的讲稿,主要讨论了偏微分方程模型建立的演绎方法和归纳方法。第五章介绍了建模与仿真之间的交叉性问题,讨论了基于系统理论概念的仿真软件,这部分内容对应于 B. P. Zeigler 的报告,B.P. Zeigler 在第二章及第五章中讲到的内容在他的《多面建模方法学》一书中得到了进一步的发展。第六章及第七章分别阐述了仿真硬件及软件的发展趋势。6.2.2 节及第七章的大部分内容取材于 V. Vemuri 及 W. J. Karplus 所写的《偏微分方程的数字计算机分析》一书。第八章讨论未来的仿真器发展趋势。这部分的内容主要基于 L. Dekker 的讲稿。8.4 节关于交互式软件分析及 6.3.3 节的内容取材于 W. K. Gilai 的讲稿。更深入的讨论,可见 Berlin 大学出版的《交互式软件体系结构》一书。

本书对建模与仿真的有关文献资料进行了综述,力图使之能真正地、全面地反映本领域的发展。此外,本书也特别注意到人和机器之间的“伙伴”关系。这种关系在今天是确实存在的。一个强有力的仿真器将成为模型建立工作者在建模活动中的重要助手。

当然,本书不可能对所有现存可用的方法及工具给予完整的介绍。然而,本书的内容对于建模工作者所关心的问题已经作了充分的论述。作者希望本书不仅对于正在从事

仿真的工作者,而且对初次接触到这一课题的学生们都能有所帮助。阅读本书需要具有线性代数、概率及估计理论、微分方程求解、控制理论的基本知识,本书在讨论中引用有关材料时直接引用其结论,不作理论上的证明。

作者对比利时 IBM 公司,比利时国家科研基金会及 Ghent 大学为使本书的出版所给予的支持表示谢意。作者也对所有为本书出版作出贡献的朋友表示感谢。

J. A. 斯普里特

G. C. 范斯蒂恩基斯特

目 录

第一章 绪论	1
1.1 建模与仿真	1
1.2 内容简介	4
第二章 数学模型和建模原理	7
2.1 引言	7
2.2 数学模型、目标上的二元性	8
2.3 数学模型：它们的性质和假设	9
2.4 数学建模方法学	21
2.5 数学模型在不同科学领域中的应用	26
2.6 结论	34
第三章 差分方程和微分方程建模方法学	35
3.1 引言	35
3.2 参数估计	42
3.3 结构特征化	99
3.4 其它建模方法学的课题	129
第四章 建立偏微分方程模型的方法学	135
4.1 序	135
4.2 根据先验知识演绎 PDE 公式	139
4.3 偏微分方程的归纳法	171
4.4 结论	175
第五章 模型信息存储与综合利用的方法学	176
5.1 引论	176
5.2 初始的、基本的考虑	180
5.3 与模型变量有关的概念	182
5.4 关于实体的一些概念	191
5.5 实验框架的概念	197
5.6 模型库与参数库	210
5.7 全局建模：技术现状	214
第六章 仿真语言	219
6.1 引言	219
6.2 连续事件的建模方法	220
6.3 离散事件的建模方法	241
第七章 硬件的发展趋势以及对仿真的影响	252
7.1 引言	252

7.2	冯·诺依曼体系结构	252
7.3	多处理单元	253
7.4	流水线技术	256
7.5	阵列处理单元	258
7.6	向量处理机	260
7.7	外围阵列处理机	264
7.8	面向仿真的外围阵列处理机	266
7.9	微处理器网络	267
7.10	一个基准题	269
第八章	由方法学的研究所产生的仿真系统及其结构	274
8.1	引言	274
8.2	仿真器操作原理的提出	276
8.3	操作原理对仿真器结构的影响	278
8.4	交互软件的结构	292
附录		302
I.	仿真的基本概念框架	302
II.	现代仿真计算机的现状与展望	307
III.	仿真软件的发展概况	312
参考文献		318
索引		329

第一章 绪 论

1.1 建模与仿真

1.1.1 面对现实的科学工程方法

自从有人类以来,人们为了满足自身的基本需要,一直在同外界环境发生着联系。随着时间的流逝,人类所依赖的这种联系方式变得日趋复杂并多样化。特别是人类在科学和工程上所做的努力是与真实世界发生联系的最成熟的一种形式,尽管有时在应用上会出现问题,但只要公正地评价目前所取得的成就,至少它的价值是不容置疑的。人们已经意识到面对现实的科学工程方法赋予了人类巨大的力量去征服自然界。本书,不打算对这个成功的事实进行哲学上的探讨,重点是放在产生了显著结果的现有方法上,即对改进方法学的技巧进行系统的研究。

近年来,由于某些方面的原因,对方法学的研究得到了重视。人们已看出从诞生之日起就给人类极大帮助的计算机又展现了新的天地。为把人类从繁琐沉闷的工作中解放出来,计算机正发挥着越来越重要的作用,这也是本书的主题。本书力求描述建模与仿真的最新进展,重点放在模型设计者与计算机的有效结合方面。为深刻地阐明这点,我们有必要对相互作用中的科学工程方法作深入的考察。

1.1.2 建模——一项有悠久历史的人类活动

建立在科学工程方法基础上的人与外部世界的相互作用,看起来已有了“形式化”模型或者说抽象的表示方法,这就仿佛是一把关键的钥匙。科学研究中的绝大部分工作(有些人甚至认为是全部)是由形式化过程和建立模型所组成的。通过观察和实验,科学家们试图建立抽象的表示方法和定律,这些方法、定律是对现实世界中有关的已经证明了假设

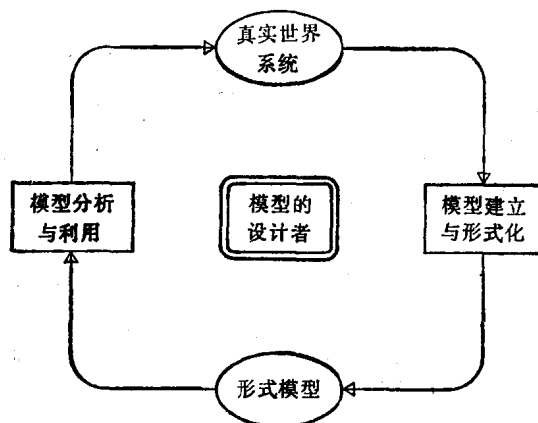


图 1.1 人与真实世界之间的科学工程(交互)作用

的形式化。这种形式化“模型”仅在它抓住了实际系统中的基本性质时才有用。它使得人们有可能进行推理、分析和设计。所以从某种意义上说它给我们提供了控制的能力。

本书所讨论的是具有特殊形式的人与外界的相互作用，它基本上由两个不同的步骤所组成(见图 1.1)，认识这点是很重要的。首先总是模型的建立或形式化这一步骤，它产生出一个现实世界系统的模型。这个阶段很明显是面向科学的。在某种意义上它是人类通过建立一种抽象的表示方法以获得对自然现象的充分理解。其次是对形式化模型进行分析与利用，以便掌握如何按照人类的意志对现实系统进行控制，这显然具有工程特点。如果考虑这两个阶段中人所采用的技巧，那么计算机的作用就变得日趋明显了。

1.1.3 在主要相互作用阶段上技巧的不平衡

对于某些特殊的相互作用，正确地完成建模步骤和模型分析步骤都是必不可少的。不幸的是，其中一步的成功并不能保证另一步的成功。事实上，在许多情形下，尽管其中的一步完成得很好，但若是缺乏另一步骤的技巧就会妨碍全局的相互作用。在数学建模的领域中，有很好的例子可以说明这点。例如，Schrödinger 的波动方程是有关某类物理现象中的一个很难的建模问题。这个模型现在仍然可用，但除了几种很简单的情形外，它的利用经常是非常困难的。这在很大程度上是由于分析这个方程的数学技巧还不够；但另一方面，只要有了足够有效的模型，模型的有效利用总是可能的。

由于相互作用本质上的局限性，某些人类的需求是科学工程方法所不能满足的，然而仅仅知道由于人类技巧上的不平衡性导致在相互作用的各阶段中一些目标不能满足是毫无意义的。有人寄希望于随着时间的推移，人类有了成熟的技巧，一些难题会迎刃而解。但目前已认识到由于人自身的局限性，这方面的成功会有很多障碍。这个事实，很早就人们的感观和知觉范围内被发现，随后人们认识到测量仪器在扩展人的感观上的价值，即通过各种方法来获得观测结果的能力是人所不及的。对于建模活动，人的能力也是有限的，人可以看成为抽象思维的工具。他有能力进行模式识别和综合，他也可以计算、记忆等。因此，应该这样认为：人类所用的建模方法是人类各种能力的一个特殊组合的结果。另一方面，人的局限性对建模的发展会有影响，这自然导致人类寻求一些有益于克服这些局限性的“仪器”和“装置”。从这个意义上说，必须充分估计计算机的作用。

1.1.4 计算机仿真

计算机问世不久，人们就清楚地看到这种新机器对很多问题的求解带来了异常的生命。最初，计算机在人类的科学工程活动中的作用是受到限制的，它仅仅作为一部强有力的、高速的、不会说话的机器。在这以前，“simulation”是一个新词。从那以后，计算机日趋完善并智能化，它的作用也与日俱增。表 1.1 提供了一个模型与仿真领域发展的系统总结^[250]。

“仿真”一词的确切含义目前仍有争议，简单地说，多数人认为仿真就是程序的运行，该程序表达了一个抽象的模型以便研究现实系统中的一些特征。在这个意义上，仿真在面对现实的科学工程方法中的模型建立阶段和模型分析阶段具有同等重要的价值。事实上，仿真用于完整过程中的不同分支中，因此经常发生混淆。然而，很显然在上述两种情况下，仿真是克服主要相互作用阶段中的不平衡性的一种手段。

表 1.1 建模和仿真历史发展的简单回顾

历 史 展 开	
1600—1940	在物理科学基础上的建模
1940	电子计算机的出现
1955	仿真应用于航空领域
1960	工业操纵过程的仿真
1970	包括经济、社会和环境因素的大系统仿真
1975	系统与仿真的结合
1975	系统仿真与更高级的决策形成

现在我们用一个更为复杂的图来代替图 1.1 那种简单的表示方法,以说明“建模和仿真”中的各重要实体以及相互之间的关系,如图 1.2 所示。模型建立者原来处于整个过程的中心地位,现在计算机就像一个合作者那样支持他。模型的建立者本身依靠一个抽象模型以进行适当的活动。按此类推,很容易理解计算机也需要有合适的语言来管理运行。计算机基本上是按程序来工作的,而模型设计者则在适宜的软件工具帮助下选择并实现这些程序。因此,有关形式模型的程序设计以及机器的计算及仿真活动,直接影响和支持着模型的建立和分析这两个基本活动。

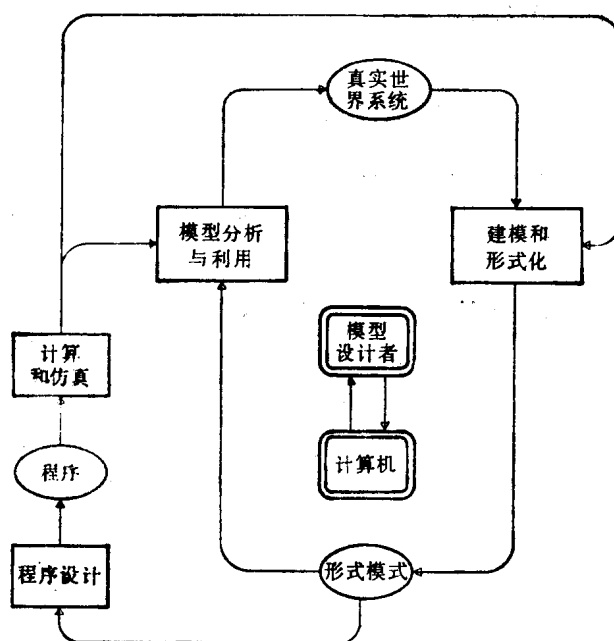


图 1.2 人、机器和现实世界的相互作用

在这里小心谨慎是必要的,这里计算机被直接视作为在科学工程方法中人的适当的合作者,有少数人怀疑这种选择。人们看到其它的一些设备,诸如小规模物理模型或“maquettes”已被用来(目前仍在使用)帮助模型建立者。例如电网模拟,它是一个用来

解决电场问题的电解槽,“maquettes”是用来分析气动特性的等等。本书并不考虑这种类型的仿真活动。作者的注意力集中在计算机辅助建模和仿真上,尽管作为形容词的“计算机辅助”在下文中将经常被省略。

现在重新考虑仿真概念的含义是适当的。事实上,可以认为所有支持模型建立与模型分析的计算即为仿真活动。为了同古典的仿真概念相区别,把这种仿真活动称之为“广义仿真”。这样,图 1.2 方框中的“计算、仿真”便可改写为“广义仿真”。但注意,本书标题中的“仿真”是普遍意义上的。通常为了简便起见,省去了“广义”二字,这只要根据上、下文即可清楚其明确的含义。

1.1.5 本书范围

本书讨论建模和仿真的方法。我们打算完整地概括工程师和科学家们利用的所有方法工具。那样的计划太庞大,甚至于设想它都感到力不从心或心有余悸。文章的选取是从两个方面来考虑。首先,我们讨论起重要作用的一般性建模与仿真问题。这部分可大体上分为四个层次。最低层次是考虑这个科学分支领域中的特殊问题的方法。第二个层次的问题是科学领域中的典型论题。第三个层次主要是模型类型、建模的性质和计算特性。最后,即最高层次是做为形式化工具的数学语言,其焦点集中在方法上。本书只在最高的两个专门层次上讨论方法学,并不涉及其它学科。

另一条思路的范围很窄。它只考虑作者的特殊兴趣以及他们对一些方兴未艾领域的看法。因此,尽管曾试图把已讨论过的论题作一个更综合性的展望,但结果仅仅介绍了这一领域的进展。下面给出各章简介。

1.2 内容简介

这节将简单介绍本书的各个不同论题。这些论题涉及图 1.2 所示的各个主要步骤。为了更好地洞察不同论题之间的关系,重新考虑图 1.2 是必要的。过去,人们主要从人类数学思想和数学理论的角度去研究科学工作相互作用的方法。现在,由于计算机的出现,过程的整体性能增强了,特别从方法学的角度看,产生了更复杂的情况。模型设计者和机器之间的责任分工很分明,但两者之间充分的“协作”仍是必要的,尽管计算机是人脑的产物,但它的运行工作方法根本不同于人脑。所以有时人机交流并不容易实现。现在,人们坚信随着模型设计者与机器之间的“协作”的增强,科学与工程相互作用的所有性能都会提高。虽然深入理解这个重要论点是极为必要的,但类似于增强协作这一方面的精密的机理还没有建立。

人与计算机也即模型设计者与仿真器的更详尽的说明见图 1.3。图中最左端和最右端是两个合作者的“硬件”:对人来讲是支持活动的人体,对机器来讲是计算机硬件。左边紧接着的是人的智力,即控制部分,它进行思想活动。相对于仿真器,则是提供使用硬件的工具,即低级计算机软件,包括操作系统,驱动器和机器指令。下一级则分别包括人类思维过程,即所有抽象工作的基础,以及通用高级计算机软件,它允许简单地实现程序设计以及在一般条件下利用系统,包括高级语言、编辑程序等。最后一级为人类建模方法学。在机器方面对应的级是建模和仿真软件,它辅助模型设计者有效地建模,在后两级

中,人机必须保证有效地通讯。如果所有各级能适当地结合,则一个统一和高效能的方法将可用于解决任何类型的问题。

本书大部分内容是讨论人类的建模方法(第四级)。第二章的主要部分,为后来的章节做了准备。数学模型是各种方法的中心问题,清楚地了解形式模型的含义及特点是至关重要的,对空间模型尤其如此。当然,并不需要进行一次严格的实际尝试,但起码应该考虑各种不同的想法,以求得充分的理解。尽管有关模型本质的基本材料不是最新的,但这里列出了最新最详尽的参考文献。比较新颖的一部分内容是数学模型建立过程本身的一般原理和实践,这些原理

简单但以前很少提到。不能说这里的描述是最好且唯一的,因为每个人的观点不同,有些专家会以为某些概念表达得不贴切。我们只有尽可能地采取公正“折衷”的态度。本章最后讨论了在不同条件下产生的不同的数学建模方法。由于作者的兴趣不同,对未来前景的看法也不尽相同。尽管有争论,但所有观点都是个人经验的总结而绝不是任何人的想入非非。这部分的讨论可以看成是对技术发展水平的考察。它的作用之一是在一定程度上论证了后面三章论点的正确性。

第三章讨论用常微分方程和差分方程方法建模的问题,这里并没有对方程进行纯数学上的讨论,这些方程常用于描述真实世界的对象和过程。当然对动态系统而言它们不是唯一的形式模型,但这种数学方法具有悠久的历史,早在牛顿、莱不尼茨时代,它就被用来表述广阔复杂的真实世界系统。本章重点即放在建立这种模型上。为了这个目的,数学对象被看成是由框架、结构和参数几部分组成。把这几部分模型的成分组合起来即为方法学的任务。我们不讨论传统的方法,即为了得到一个描述系统的物理量,通常是尽可能找到一个与原始系统相似的情况,使每个参数对应于描述系统的一个元素,使之能通过简单的实验直接求出该物理量的值。本章不讨论这种经典的技术,相反地,提供直接建立在系统研究和系统模型基础上的方法,其系统模型元素是根据系统本身的实验推断而得。在这种情况下,机器有两方面的用途。首先它给出难以获得分析解的差分方程和微分方程的解法,其次,它使那些需要计算量极大的以前不能实现的技术得以实现。

尽管我们极少提到计算机,但它的存在和使用价值几乎是任何一个将要讨论的计算方案所必不可缺的前提。本章的主要内容是参数估计,特别讨论递归参数估计,同时也讨论数据元。对近10年来上述问题和其它许多基本问题的研究工作,本章也略有描述。为使模型设计者设计出适用于特定模型的计算方案,本章进一步更深入地探讨了参数的估计问题。随后论述了求解被称为“结构”的另一个模型组成部分的方法学。这里同样认为高功效的计算机是与人处于并肩地位的。本章提供的题目仍在研究着并且可以指望有可观的基本工作要做。最后一节主要讨论一些其它的对差分,微分方程模型建立起着重要作用的问题。

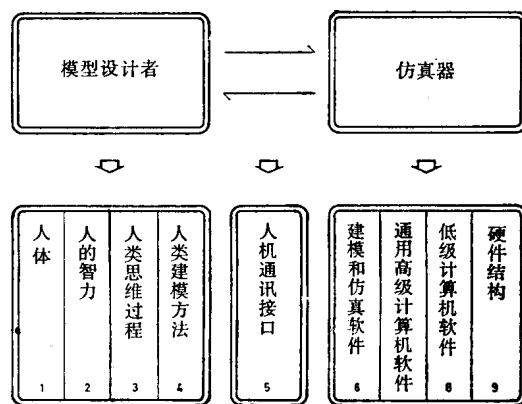


图 1.3 模型设计者与仿真器的固有联系 (build-up)

在第四章里,我们着重详细讨论建立在偏微分方程基础上的另一种模型。这种模型类型更为复杂,它的模型建立的方法学还没达到微分方程模型方法的水平。但它在科学工程的许多分支中正被广泛地利用着。在这种意义上,本章的风格类似于上一章,它也讨论了人类建模的方法学。这里仿真器的影响是巨大的,求解微分方程的分析技术远远不够用,而且计算量是如此之大以至于最先进的计算机有时也无能为力。同样对建模来讲,计算量比常微分方程时的情形大得多。事实上,缺乏对对象的了解将导致庞大的计算工作量。因此,建立偏微分方程的最有效的方法,仍是以传统的演绎方法为基础。偏微分方程模型类型适用于许多学科,不管系统是怎样的不同,似乎总存在着建模的一般原则。本章主要进行以下问题的讨论:哪些学科应用偏微分方程?哪种类型的偏微分方程最常用?最后一节用类似于常微分方程的方式来处理建模问题,并且为了说明模型类型如何影响建模方法学还做了一些比较。

第五章具有双重目的。其侧重点逐渐转到仿真器方面。由图 1.3 可以看出,这意味着建模和仿真软件的高层结构概念的发展。这一级必须与人类建模方法紧密相联,这样模型设计者与机器之间的通信才能非常有效。所以,第二章仍是这一章的基础。尽管我们知道人类建模过程以及建模与仿真软件的充分结合是迫切需要的,但这方面课题的研究最近才开始,还有大量的工作要做。高层的一个主要任务是与信息组织有关,这些信息来自于正在研究和探索中的真实世界。相比之下,对人类情况的研究则硕果累累。人类的科学知识从低级、特殊到高级、一般地有层次地积累起来。用脑力来完成这些与科学理论构造有关的知识的组织过程是困难的,这需要付出巨大的代价。用计算机适当地组织来自真实世界系统的信息,不仅对人机紧密结合的发展有所帮助,而且对建立一个能彻底支持建模活动的信息库起了极大作用。本章还讨论一些计算机概念。诸如基于计算机的数据存储、模型和建模目标等。为了说明第三种模型类型的用途,我们用到了离散事件系统的描述模型。

第六章涉及更先进的模型和仿真软件,本章几乎完全忽略建模问题而转向仿真工具。为了用计算机求解和运行模型,以及为了帮助模型设计者从程序设计重担(这些庞大的程序设计使整个模型建立和模型使用方案陷入困境)下解脱出来,仿真语言及仿真程序包需要特别地设计,本章基本上概括了现有的依据于模型类型的各种程序设计语言,这些模型可被仿真为:常微分方程、偏微分方程和离散事件模型。正象我们将要看到的那样,目前,用于运行模型的专用软件的焦点集中在仿真上。很清楚我们需要大力发展这种软件,它给我们提供了执行第三、第四章所描述的许多建模程序的简便方法。

第七章论述仿真硬件和图 1.3 中第九个层次中的内容。计算机最初被发展成为一种计算工具,但在新的要求和新的技术的推动下,它的特点逐渐地转变了。正因为机器是由人设计的,所以人也可以按照他所希望的设想来改造机器。一旦计算机被看成为人类的合作者共同完成对科学工程的相互作用,就有必要改进它的全局性能。尽管软件能在一定程度上补救硬件的不足,但最终目标还应是寻找一种最优硬件结构以实现人的目的。本章重新讨论计算机硬件的发展,并从仿真的角度评价其影响。

最后一章向我们展现了未来的种种设想。本章给出了一个用于建模和仿真的理想合作者的建议。未来的仿真器将具有并行结构,它的要求及构造在本章中将有所论述。本章也将对模型设计者与未来仿真器的通讯接口给予足够的注意。

第二章 数学模型和建模原理

2.1 引言

在这一章中,我们主要介绍数学模型和建模方法的一般原理,并希望能通过这一章为读者较容易地读懂其它章节提供一个坚实的基础。另外,也试图以一个比较合适的比例来安排内容。更为重要地是要说明在建模和仿真领域中,本书其它章节的有关内容是如何构成该领域当前的研究课题。

在这里,数学模型被看成是一个能实现某个特定目标的有用工具。为此,首先我们要来讨论一下数学描述的目的,然后指出一个数学描述如何被用于客观事物,以便主要依据对现实的两种不同看法,对它们进行分类。在建立一个合适的模型的过程中,把重点放在建模目标上是很重要的,这一点以后可以看得很清楚。

下一步我们将分析模型的本质,这部分内容是比较抽象的,而且需要较多的思考。为了避免由于过多的细节而模糊了主要的观点,我们将尽量把数学推理减少到最低限度,但又能向读者表达数学描述的确切含义。从本质上说,数学模型是一个以“系统”概念为基础的,关于现实世界的一小部分和几个方面抽象的“映象”。这个系统观允许对现实世界中的过程在各种不同详尽程度上进行数学描述(“编码”)。所以,能够把各种不同的模型彼此联系起来,它们之间的关系可隐含在数学之中。在本节中,我们仅仅引进了同态和同构这两个概念。在研究一个特定的现实世界过程的行为时,同态与同构反映了两个等价模型描述之间的最基本的关系。

事实上,有各种不同的模型描述被用于现实世界,它们都是一般模型形式的特殊情况。然而,一般模型由于太一般化了,所以不能直接应用于特殊的环境中。在本章中,将用一个“模型形式分类”的例子进行简要说明。如果要将在这里所介绍的一般模型或者它的简化形式之一正确地用作对一个真实系统的“映象”,则需要依赖于一些假设。在这一章中,我们也将对“部分可分解性”和“状态存在性”这两个假设作一点非正规的讨论。

在讨论完数学模型本身的基本要素以后,将进一步考虑建模方法,它包括如何去建立一个数学描述,如何去形成一个有关现实世界的物体或过程的适当的抽象映象。建模历来被认为是一种“艺术”,只是在最近才被细致地加以研究。确实,建模是一种非常复杂的人工技艺,它是逻辑思维、直觉、抽象、联系和技艺相融合的一个过程。它决不能,也不可能用系统的方法来加以分析。然而,对建模过程中基本流程结构的探讨却是很有意义的,这使我们能够更好地理解哪一个问题是最重要的。在这里,模型“映象”可被看成一个编码信息的实体,因此,建模就是对取自于建模者周围环境的信息进行浓缩。我们将给出模型信息的来源,并且一般化地讨论从这些信息来源中我们所能得到的一些启示。建模者对信息来源的不同看法,导致了不同的建模原理。然后,我们要在可信度这个概念下来讨论模型映象的质量,最后,借助于上述分析和对一个数学模型本身的分解,我们将给出有关建模过程的一个完整的框图。

在本章的最后一节中,我们将研究数学建模的成功之处及它的用途。由于这些观点主要是由一些事实和个人看法相融合而得出的,因此,或许在不久的将来,这些观点将会发生变化。一般地说,数学描述的应用程度取决于人们对所应用的那个领域认识的程度,我们对这个观察结果做了一个调查,有关它的分析的确是一个引人争议的问题,它不仅涉及到其它章节的内容,而且还涉及到该领域中当前的研究课题,最重要的是它提出了对一类问题的新的研究方向,这类问题在目前还很少被触及,但却是相当关键的。

2.2 数学模型、目标上的二元性

数学模型有着十分广泛的应用,它们的应用无论是在纯科学领域还是在工程上都获得了巨大收益。正如在 2.1 节中所提及的,它对现实世界现象的影响正在日益增大。首先,

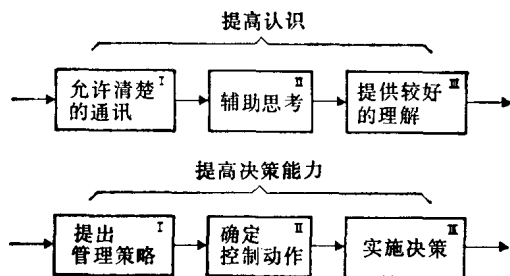


图 2.1 数学模型的作用

它帮助人们不断地加深对现象的认识,并且启发人们去进行可以获得满意结果的试验。从这个意义上来说,这种影响具有较多的“被动”性质。但同时,就其能够提高人们的决策和干预能力而讲,它又具有“积极”的一面。对于上述这两个目标,我们均可提出三级重要的标准,如图 2.1 所示。

从提高认识能力这个方面来考虑,

为了加强这种影响作用,我们将分别提

出:通讯、思考、理解三个层次。首先,一个数学描述要提供一个准确的、易于理解的通讯模式,即信息传递给别人时,这种模式可以减少引起误解的机率,除了具有清楚的通讯模式以外,在研究系统的各种不同问题或考虑选择假设时,需要一个相当规模的辅助思考过程,最后,一旦模型被综合成为一组公理和定律时,这样的模型将使我们更好地认识现实世界的现象。

同样,为了加强决策能力,我们也划分出三个不同的干预层次,管理、控制和设计。管理是一种十分有限的干预方式,通过管理这种方式人们可以确定目标和决定行动的大致过程。但是这些策略无法制定得十分详细,因此,它的具体实施必须委托给下一个层次,并且在下一层次被翻译理解。正因为如此,在意图与实现两者之间的联系就变得模糊不清,在控制这一层,动作与策略之间的关系是确定的。但是由于控制级中的动作仅限于在某个固定范围内加以选择,所以仍然限制了干预的范围。与此相反,在设计层,设计者能在较大程度上进行选择,扩大或替换部分现有的现实,以满足设计者的希望。相对其它两层而言,实现一个设计要花费较高的代价同时也不常进行,而控制和管理却是一种连续的“在线”的活动。

根据这种目标观点,对于第一种情况,我们可以把现实世界的系统看成是由能观测和不能观测两部分组成,而对第二种情况,则可看成是由能控制和不能控制两部分组成,能观测部分对应于系统中所有能被辨别、理解、观测和测定的部分;能控制部分则对应于系统中所有那些可用某种方式加以修改、转换、把握和影响的部分;余下部分对应于不