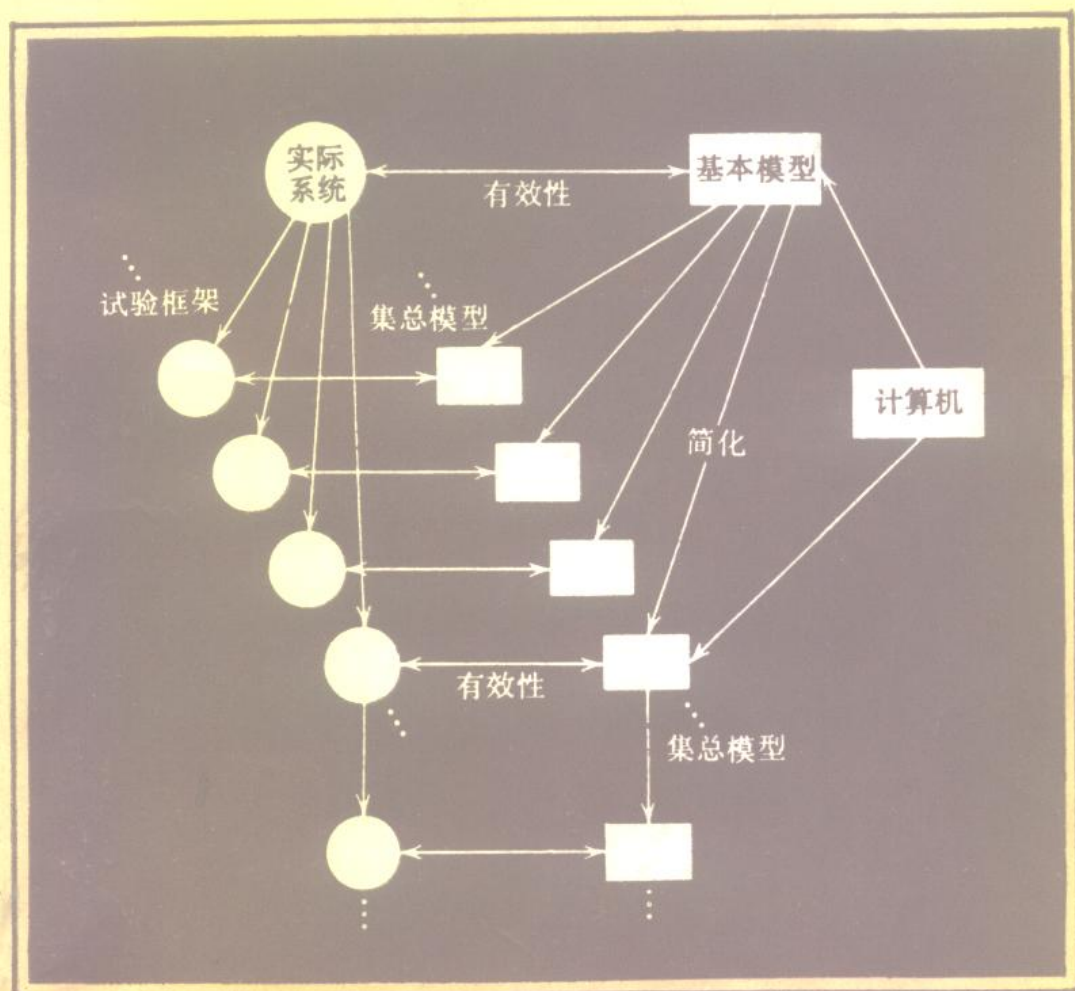


制模与仿真理论

〔美〕 B.P. 齐格勒 著



机械工业出版社

73.825
768

制模与仿真理论

〔美〕 B. P. 齐格勒 著
李育才 卜纯英 杜正秋 译
顾绳谷 邓慎康 校订



机械工业出版社

8510334

DT13/28/6

Theory of Modelling and Simulation

Bernard P. Zeigler

John Wiley & Sons, Inc. 1976

* * *

制模与仿真理论

[美] B. P. 齐格勒 著

李育才 卜纯英 杜正秋 译

顾绳谷 邓慎康 校订

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京市密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $17 \frac{1}{2}$ · 字数 421 千字

1984 年 12 月北京第一版 1984 年 12 月北京第一次印刷

印数: 0,001—6,600 · 定价: 2.80 元

*

统一书号: 15033 · 5636

156016

译者的话

制模与仿真技术,已遍及各学科和工程领域。对每一学科或专业工程,均有其自身的模型和研究这些模型的途径与方法。B. P. 齐格勒的这本书,根据模型的描述、简化、有效、仿真与探测等概念,把制模与仿真技术系统地提炼成一种普遍有用的初步理论,提供了一个以抽象形式描述为中心的框架工作。由于该理论尚处在形成与开拓阶段,许多问题还有待于进一步研究和完善。为了向国内对制模与仿真技术有兴趣的读者介绍这一理论,我们翻译了这本书,以供参考。

本书内容共分三篇:第一篇用非形式的和直观的方式介绍制模的基本框架和概念;第二篇是为全面理解第三篇提供系统理论概念的形式描述;第三篇阐述基本形式框架,并借助于框架、探讨制模与仿真中存在的许多课题。文体按叙述、练习和习题三部分编排。叙述部分提供研究的主要线索,省略次要的但对于某一论点又往往是必要的材料。练习是有意用来填补这一空隙的,一般要在充分理解以前内容的基础上才能着手去做,并需作一、二步逻辑推理。习题则是从直接应用所叙述的概念出发,引导读者对与本文有关的,但尚未被研究过的材料作广泛的探索。这种顺序的编排和启发式的讲述是可取的,也很适合于初具形式数学知识的读者自学。

本书可供攻读系统科学、计算机科学和信息科学的高等学校师生、科研人员及在这些方面实际工作的工程师参考。

参加本书翻译的有:安徽师范大学卜纯英(第一~十章);上海业余工业大学杜正秋(第十三~十六章);安徽机电学院李育才(第十一~十二章)兼译文校对。

本书由合肥工业大学顾绳谷、邓慎康两位教授作了详细审校。本书责任编辑为邱锦来同志。

由于我们的思想和业务水平低,译文中肯定存在不少问题,敬请读者提出宝贵意见。

原 序

为什么要有制模与仿真实论?

制模与仿真领域,尤如人的事务一样,种类繁多。每一学科,包括其本身的模型及研究这些模型的途径和工具,已均有所发展或正在发展。那么,制模与仿真的全面理论又为何必要呢?

为什么要向主攻生物、航空工程、或商业管理的大学高年级生或一年级研究生,介绍制模与仿真的一般理论(既然另一学科对他的本专业并不具有特征性)?答案在于相同的推理,即要求大学生在数学上打好某种基础一样。没有任何人怀疑算术在科学、工程和管理上的作用。算术是无所不至的,虽则它是一个具有自己的公理和逻辑结构的数学学科。算术的内容对于任何其他学科虽无特殊性,但对于它们均可直接适用。这样说,不是要教导学生物和学工程的学生用不同的方式去加,而在于用不同的训练教会他们加什么、何时相加与为何相加。

制模与仿真的实践也遍及所有学科领域。然而它也有它自己一套关于模型的描述、简化、有效、仿真与探测等概念,而这些概念对于任何一门特定学科并不具备有特殊性。这样的提法是会被各方同意的。可是也并非每个人都会认为所提到的这些概念能够被离析和提炼成一种普遍有用的形式。

为此,本书试图提供一个框架工作,使这些概念在它们之中能以明显的抽象的形式描述出来;为了使它更进一步明确化,再用具体的制模事例来体现这些概念。

这样的框架工作对于目前正在学习某一专业的学生或日后将要专攻某学科的学生有什么用处呢?它能履行如下的意图:

1. 向学生介绍这个领域中可使用的,而不是学生本学科中现行利用的那些概念和工具的全部范围。
2. 提供所在学科制模活动的前景,让他们创造性地使用从其他学科产生的洞察力和方法。
3. 使之明白我们为何要制模与仿真,它们能够完成什么,不能够完成什么。
4. 提供一个将模型结构和行为传递给别人的普遍适用的语言,不管后者对其各自学科表现的框架工作熟悉与否。

我们已经谈到了有关非计算机科学的制模与仿真实论。然而,本书也致力于一般系统理论和数学系统理论或更为专业化的计算机科学及信息科学感兴趣的读者。的确,这里所研究的框架工作反映了以下几个有关方面的影响:

- 一般系统理论,用它在所有系统(即使各系统可能各式各样)中确立某个基础的和可利用的单元。
- 数学系统理论,用它试图把系统的结构和行为的概念加以形式化。
- 自动理论,用它将有关计算机模型的行为和相互关系作形式的、逻辑的和代数的分析。

根据上述情况,本书罗列各种有效的途径和形式化,以便处理由制模与仿真所引起的各种特殊问题。因此,已有理论应向研读系统科学和计算机科学的学生介绍所需概念和/或数学研

究领域中的许多尚未解决的问题,同时也向他们提供钻研上述问题的基础。

对于制模与仿真方面有经验的老手,我谨以此书在非常抽象又广泛应用的材料之间填补一个文献上的重要空隙。初具形式数学知识的读者,可能会感到困难,然而,笔者仍希望他们将被引向更清楚地领悟其制模工作中日常所面临的问题。

本书的计划

要达到同两方面的读者有意义的联系,即一种是定向致力于计算机科学的读者,另一种则否,难题便出现了。为解决这一难题,本书分成三篇:第一篇用非形式的和直观的方式介绍基本框架和基础概念。第二篇是为全面理解第三篇所必须的系统理论概念的形式表述,第三篇则进一步阐述基本的形式框架工作,并借助于框架工作探讨制模与仿真中存在的许多课题。

第一篇内容自成体系,作为向主攻计算机科学和非计算机科学的学生介绍制模与仿真的基础。第一章和第二章处理模型的描述和基本系统的概念。研究了这些概念性基础之后,我们将扼要地考虑实际系统、试验框架、基本模型、集总模型和计算机等各基本组成部分以及与这些基本组成部分有关的简化、有效和仿真等概念。其次,通过论述几种普遍使用的简化程序,提出一个问题:在什么情况下这种粗略的简化才能导致有效模型?

第三章到第七章处理仿真的动力学,即处理模型短暂行为的发生。对状态概念和模型的形式描述同计算机执行仿真过程的描述两者的研究齐头并进。

第一篇的最后一章(第八章)又回到制模主题。从形式基础出发,讨论一个离散事件制模的例子并介绍作为有效简化判据的同态概念。

第二和第三两篇是为主攻计算机科学和系统科学而写的,向他们提供作为辅课的制模与仿真的基础,这里着重将形式系统概念应用于解决该领域中的问题。

第二篇包括两章,第九章研讨由最低行为级到最高结构级推移的系统规范的分层。第十章研究迭代规范保存关系的并行分层。这些同态(保存关系)形成一个较高级同态包含较低级同态的层次,但这种包含是不可逆的。

第三篇用前面研讨过的系统概念,揭示出基本框架工作的某个公理。为许多定义域所共有的众多问题,在该基本框架里被离析并用公式表示出来。这些问题包括模型简化、近似、有效和预测、结构推理、程序检验和模型的集成等等。以后的各章则对这些问题作一定深度的处理。

如何讲授与阅读本书

许多建议在第一篇的导论里已向教师提出。

书面行文采用一条龙和逻辑推理式的方法。这对于依次澄清问题是必要的,然而,对本应齐头并进的某些概念却促使其分离。所以应该赞成教师打破章节界限去寻求一些变通的路子。例如,在讲授中当介绍到模型的非形式描述(第一章)时,教师可以把寿命仿真对策设计(第四章)作为第一次编程练习布置下去。而当学生设计其程序时,教师可联系寿命对策内容,介绍状态和转移函数的概念。

仿真语言的教学应同概念研究相互分散进行,并且要紧扣编程练习。(对具有中等编程能力的学生,一学期教程可授二、三种语言,如 GASP、CSMP 或 GPSS)。这样做可促使学生不断运用课堂上提出的原理。尚有不少介绍这些语言的优秀著作可资参考。

虽然二、三两篇的材料均在相对抽象的水平上展开的,但所研讨的问题却都是基本的,并且能在具体制模情况下指明这些问题。最近许多新书中研究随机仿真模型的先进处理也有类

似情形。

实际制模与仿真情况下的另一种方法乃是“准仿真”——构造基本模型和集总模型并对照前者检验后者(附录 A 中有此仿真实例)。若对此感兴趣,可让学生个别或分组进行一次准仿真练习。为了搞清一般概念和课堂上讨论的问题,可开列些问题让学生在学年考卷中回答有关仿真的问题。附录 B 说明了样本问题的格式。

书的本文包括三方面内容,即叙述、练习和习题。叙述部分供给研究的主要线索并省去次要成分,后者往往对支持论点是很必要的材料。有意用来填补这个空隙的练习,一般要对以前内容比较熟悉的基础上才能进行,此外尚需作一到二步的逻辑推理。另一方面,习题部分则从直接应用所叙述的概念到引导学生对课文有关联的,但未被研究过的材料作广泛的探讨。

练习还伴随有补充的解说。这对于喜欢刻苦通读全书的读者是可取的,相信他们在作练习之前已能充分理解这一说明。至于那些宁愿先领略大意而后再充实细节的读者,初次阅读时可越过练习,在随后的学习中回过头来再去考虑它们。如此处置也是可行的。

B. P. 齐格勒

1975 年 8 月于密执安

目 录

第 一 篇

第一章 制模事业及其联系	1
§ 1.1 制模与仿真: 综述	1
§ 1.2 制模与仿真的联系	3
§ 1.3 模型的非形式描述	5
1.3.1 举例	5
1.3.2 非形式模型描述的建议格式	10
1.3.3 总结: 非形式模型描述	11
§ 1.4 形式模型描述的介绍	12
1.4.1 模型的分类	12
1.4.2 模型作为系统的规范	13
1.4.3 起点的评注	14
1.4.4 总结: 形式模型描述	14
参考资料	14
第二章 五个组成部分	15
§ 2.1 实际系统: 行为	15
§ 2.2 试验框架: 有效性	17
§ 2.3 基本模型: 假想的完全解释	17
§ 2.4 集总模型: 简化	17
§ 2.5 计算机: 复杂性	17
§ 2.6 须记住的区别	18
§ 2.7 举例	18
2.7.1 大肠杆菌(细菌)细胞	18
2.7.2 大楼-电梯系统	19
§ 2.8 简化过程	22
2.8.1 淘汰一个或多个分量、描述变 量和(或)相互关系规则	22
2.8.2 随机变量取代确定性变量	24
2.8.3 粗化描述变量范围	24
2.8.4 归组分量及聚集变量	26
§ 2.9 总结	27
习题	27
参考资料	28
第三章 样机仿真和形式模型规范	29
§ 3.1 状态的概念	29
§ 3.2 状态变量的性质	32

§ 3.3 时不变模型的离散时间仿真的样机 程序	33
§ 3.4 各种模型的形式规范	34
§ 3.5 结构与行为	37
§ 3.6 各种非自治模型的情况	38
§ 3.7 伪随机数发生器	41
3.7.1 滞后变量的状态表示法	42
3.7.2 随机数的随机性	43
§ 3.8 概括几点	43
习题	43
参考资料	44
第四章 相格似空间模型的仿真	45
§ 4.1 序列和并行处理	45
§ 4.2 程序的非形式模型和序列计算机	46
§ 4.3 计算机和程序的模型	47
§ 4.4 相格空间模型与仿真器	48
§ 4.5 相格空间模型的非形式描述	48
§ 4.6 有界相格空间的仿真程序	50
§ 4.7 离散时间结构模型	53
§ 4.8 离散事件仿真的步骤	54
习题	57
参考资料	58
第五章 离散时间和连续时间模型的 仿真	59
§ 5.1 从网状描述到系统的规范	59
§ 5.2 模型描述语言	63
§ 5.3 分类过程	65
§ 5.4 离散时间模型	68
§ 5.5 微分方程说明的模型	70
§ 5.6 积分法	71
5.6.1 因果法	72
5.6.2 非因果法	73
§ 5.7 一般情况: “填补间隙”问题	74
§ 5.8 总结	75
参考资料	75
第六章 离散事件模型介绍	76
§ 6.1 离散事件模型举例	76

§ 6.2 概率模型的确定性表示法	79
§ 6.3 杂货店模型的接近形式化	81
§ 6.4 同时事件	83
§ 6.5 说明输入变量的作用	85
§ 6.6 概括离散事件系统的规范	86
习题	87
参考资料	87
第七章 离散事件的仿真策略和模型	88
§ 7.1 事件定向模型规范	88
7.1.1 结构事件定向模型	88
7.1.2 事件定向的离散事件系统规范	89
§ 7.2 “SELECT”函数的评述	90
§ 7.3 计算机-用户模型	90
§ 7.4 事件调度仿真策略	93
7.4.1 下次事件仿真样机	94
§ 7.5 组合事件定向——活动扫描模型	
规范	96
7.5.1 结构组合模型	96
7.5.2 举例	97
7.5.3 组合事件——活动离散事件系统	
规范	98
7.5.4 活动扫描仿真样机	99
§ 7.6 过程相互关系仿真	100
7.6.1 举例	101
7.6.2 过程相互关系样机	101
§ 7.7 “SIMULA”	104
§ 7.8 通用仿真系统(GPSS)	105
习题	109
参考资料	109
第八章 制模理论的介绍	111
§ 8.1 杂货店——基本模型与实际	
系统	111
§ 8.2 杂货店的试验框架	113
§ 8.3 试验框架和输出变量的选择	117
§ 8.4 有效的简化	117
§ 8.5 杂货店集总模型	118
§ 8.6 同态:有效简化判据	120
8.6.1 时间进程函数的保存	120
8.6.2 转移函数的保存	120
8.6.3 输出函数的保存	121
§ 8.7 杂货店基本-集总同态的建立	121
习题	121

第二篇

第九章 系统规范的分层	125
§ 9.1 时基	125
§ 9.2 轨迹和分段	126
§ 9.3 I/O 关系的观测	127
§ 9.4 I/O 函数的观测	129
§ 9.5 I/O 系统	130
§ 9.6 由系统结构到行为	132
§ 9.7 时不变系统	134
§ 9.8 系统的迭代规范	137
9.8.1 生成段	138
9.8.2 生成元变换的扩展	140
§ 9.9 迭代规范的专门化	143
§ 9.10 微分方程系统规范	144
§ 9.11 离散事件系统规范	146
§ 9.12 某些 GPSS 原型的 DEVS	
模型	147
§ 9.13 至迭代规范的转换	148
§ 9.14 系统规范的各种网络	152
§ 9.15 离散时间(序列机)网络	154
§ 9.16 微分方程网络	155
§ 9.17 离散事件网络	155
§ 9.18 结构系统规范	157
§ 9.19 概括几点	162
习题	163
参考资料	165
第十章 保存关系的分层	166
§ 10.1 I/O 关系观测的同态	166
§ 10.2 I/O 函数观测的同态	168
§ 10.3 I/O 系统同态	170
§ 10.4 结构保存蕴含着行为保存	171
§ 10.5 迭代指定系统的系统同态	173
10.5.1 序列机情况	174
10.5.2 离散事件情况	175
§ 10.6 结构规范同态	175
§ 10.7 系统的缩简型式	178
§ 10.8 可实现的 I/O 关系和 I/O 函数的	
特征	180
§ 10.9 概括几点	182
习题	183
参考资料	183

第三篇

第十一章 制模与仿真的框架工作185

- § 11.1 基本假设.....185
- § 11.2 假设的讨论.....186
- § 11.3 制模与仿真的一般问题.....189
 - 11.3.1 有效模型的构造与简化190
 - 11.3.2 仿真程序的检验190
 - 11.3.3 复杂性的缩简190
 - 11.3.4 拟合优良度判据与近似模型190
 - 11.3.5 状态与参量的辨识191
 - 11.3.6 结构推理191
 - 11.3.7 模型的积成191

参考资料191

第十二章 有效模型的构造与简化193

- § 12.1 神经原网的制模.....193
- § 12.2 缩简的简单说明.....194
- § 12.3 NEURON 作为随机自动机.....194
- § 12.4 同类 NEURONS 的方块195
- § 12.5 NEURONS 的相互连接方块196
- § 12.6 基本-集总模型对偶的构造196
- § 12.7 试验框架和有效性.....199
- § 12.8 有限邻域大小的情况.....199
- § 12.9 自然发生的结构同态特征.....200
- § 12.10 系统的分解:分量的隔离和辨识.....201
- § 12.11 并行分解201
- § 12.12 串行分解201
- § 12.13 慢快串行分解202
- § 12.14 反馈分解203

习题204

参考资料205

第十三章 近似法和误差容限206

- § 13.1 拟合优良度判据.....206
- § 13.2 误差传播.....208
- § 13.3 输出函数的失配.....208

§ 13.4 转移函数的失配.....209

§ 13.5 把误差模制成噪声.....212

习题214

参考资料215

第十四章 状态的辨识、有效性和预测...216

- § 14.1 初始状态问题.....216
- § 14.2 形式处理.....217
- § 14.3 状态辨识试验的构成.....219
- § 14.4 集总模型与基本模型的关系和唯一
预测.....220

习题221

参考资料221

第十五章 结构推理222

- § 15.1 I/O 关系到 I/O 函数推理的论证 ...222
- § 15.2 论证条件.....223
- § 15.3 系统级结构推理的论证.....224
- § 15.4 同态和弱结构同态.....226
- § 15.5 强结构同态推理的论证.....226
- § 15.6 概括几点.....228

习题229

参考资料231

第十六章 仿真程序的检验与复杂性 ...232

- § 16.1 一维相格空间的程序检验.....232
- § 16.2 扩展同态.....235
- § 16.3 模型的仿真复杂性.....235
- § 16.4 仿真复杂性的度量.....236
 - 16.4.1 有向图同态238
- § 16.5 与同态有关的复杂性度量行为.....239
- § 16.6 总结.....242

习题242

参考资料244

附录 A 大脑的制模245

附录 B 项目规划报告的形式256

附录 C 随机变量的简单入门、随机变量的
计算机实现和模型的统计有效性 ...257

第一篇

第一章 制模事业及其联系

我们在这章首先安排制模与仿真事业的综述,即:它的对象、本质和过程。然后,引导到本章的主要中心——模型的非形式描述及其分类。

§ 1.1 制模与仿真:综述

“制模与仿真”术语,系指构造实际世界系统的模型和在计算机上进行仿真的有关复杂活动。

根据此定义,很明显,我们所关心的是三个主要组成部分,即实际系统、模型和计算机(实际上,在第二章将把它们详细描述为五个组成部分)。当我们着手制模与仿真时,不仅要关心各组成部分本身,而且还要关心它们之间所建立的某些关系。事实上,制模主要处理的是:实际系统与模型之间的关系;仿真主要考虑计算机和模型之间的关系。

因此本章的主题基本上由三个组成部分和两个关系(制模关系和仿真关系)来表征,如图 1-1 所示。

实际系统 即意味着感兴趣的实际世界的某个部分。这个系统可能是自然的或人工的,现在存在的或对未来所计划的。例如,一位自然科学家可能对花卉的发育过程或蜜蜂群的社会组织,这样一些存在的实际系统感兴趣。一位工程师为将来计划设计的人工系统,例如,一代新的计算机或新的大城市运输系统感兴趣。

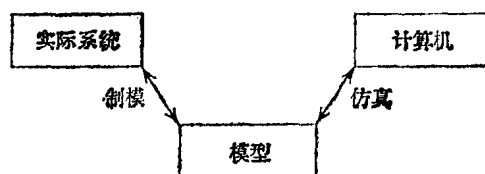


图 1-1 制模与仿真事业的基本组成部分和两个关系

通常可以说:实际系统是(或将成为)以 X 对 T 曲线为主要形式的行为数据源,这里 X 可能是任何感兴趣的变量,如房间里的温度、花卉的瓣数,或美国国民生产总值,而 T 是时间,由常用单位如秒、日或年来度量。这样曲线的例子如图 1-2 所示。

模型基本上是为了产生图 1-2 形式的行为数据的一组指令。

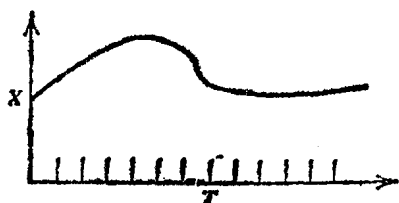


图 1-2 X 对 T 的曲线

模型通常用某些普通的方法——微分方程法,用自动理论的符号或用离散事件的形式来表示。这些方法将在后面介绍。虽然,这种表示不可能立即显而易见,但模型描述的所有这些形式,为了产生数据均能向“某人或某物”提供指令。

那个“某人或某物”可以是制模者本身,例如,制模者企图去解由他建立的某微分方程。而今天,更一般情况,可能是指执行适当编程模型指令的计算机。对于我们,一台计算机(人或机器)在供给适当编码模型指令时,就是能产生行为数据的计算过程。

8510334

虽然,模型本身不产生数据,我们仍可说模型产生数据(model-generated data)或模型行为(model behavior),因为模型向产生模型行为的计算机提供主要指令。我们应从模型的结构去区别“模型行为”,这主要参考模型指令所取的特殊形式。本质上,行为是模型产生的,而结构是使模型产生行为的。

在简短地看过这三个组成部分之后,再让我们来考虑两个关系。制模关系(modelling relation)所关注的是模型的有效性(validity),即模型如何充分地表示实际系统。例如,以实际系统数据和模型产生数据之间的符合程度来度量其有效性,可用等式象征性地描述:

$$\text{实际系统数据} \stackrel{?}{=} \text{模型产生的数据}$$

对于这个有效性有强度上的轻重之分。如果模型产生数据与从实际系统所得数据相匹配,模型便是复制有效的(replicatively valid)。比这个稍强的级是在它从实际系统取得数据之前能够(或由模型至少“看出”)匹配数据的情况,模型便是预测有效的(predictively valid)。第三个更强的有效性级是关于模型的结构和实际系统内部工作之间的关系。一个模型如果不仅能复制被观察的实际系统的行为,而且能真实地反映实际系统产生这个行为的操作,便是结构有效的(structurally valid)。

仿真关系(simulation relation)所关注的是计算机执行模型所规定指令的忠实性。一程序实现模型所具有的忠实性,通称之为程序的正确性(correctness)。这里所关心的是计算机产生数据的准确度。计算机是忠实地产生实际模型的行为呢,或是引出错误的输出?计算机是执行模型本身的特征呢,还是执行程序的假象?

首先为什么要从事制模与仿真?在心目中可有一个或多个如下的目的。我们可能希望单纯地了解一个实际系统怎样工作的,好象一位研究自然的科学家。在此情况下,可用模型来体现基本的假说和现实达不到的结构。

如若我们有更重实效的倾向,多半会用实际系统操作的某些方面最优化观点来进行系统某参量研究。例如,一位计算机工程师可能首先对安排计算机在某个速度工作(在此速度下计算机很容易处理这些工作)的各种方式的效果感兴趣。根据最优化知识,他可以用较好的布局找到一个导致高速度处理这些工作的组合。在这种情况下,就可使用模型作为实际系统的替换物或代用品。对实际系统代之以模型的理由有:用实际系统作试验,可能是昂贵的、耗费时间的或者在某些情况下甚至是不可能的。例如,从道义上考虑,应尽量避免损害人的大脑参量,而使用大脑的模型作试验,就没有这样的限制。另外,计算机的仿真试验完全是可重复的和非破坏性的。一只罗猴由于去除网状结缔活化系统之后再也不会是原样的,但一个模型却若无其事,能够任意重新起动。最后,从计算机仿真所获得的数据,通常很容易翻译和还原成统计的及图表的梗概,特别是考虑到为此用途的许多仿真语言所提供的方便。

根据同样的理由,代理仿真模型现已开始在教育方面服务。例如,医科学生借助于计算机编码模型来模拟实际患者,学习药物处方技术。这样就可避免治疗处置上的错误,优点是显而易见的。

应特别提到科学定向和应用定向两种情况,因我们非常关心实现的有效模型(achieving valid models)。在应用定向情况,我们感兴趣的是复制的有效性或预测的有效性。一个实际患者的模型是临摹人对所有标准药剂安排的反映。而不必对那些医生尚未设想过的药剂安排作出反映。但是,对一个尚未建筑的运输系统模型,应可靠地预示系统实际运行时将会发生什么。在科学定向情况,我们针对结构上的有效模型,它们揭示自然的工作。(如果你俯首自

问,必须什么样的结构有效性实现预测有效性和复制有效性,你就会有这样的动力去坚持读完本书,它将会给你一些回答。)

要实现有效模型,当然必须知道如何去构造模型,包括可能描述为某种表达语言的模型。由于起始模型通常太复杂,所以我们应该知道怎样仅保留那些与我们质询有关的信息来简化模型。也应该了解到使模型复杂化的原因,如由计算机执行模型指令所要求的设备来衡量复杂程度。要证实模型有效,就要求把模型的行为同实际系统的行为进行比较。由于我们不能混淆程序的毛病与模型的毛病,先决条件是检验模型程序实现的正确性。因此必须懂得仿真过程:它的机理(mechanics),如怎样实现随机变量或怎样对微分方程求积;同样,它的对策(strategies),如在排列事件和活动中所取的不同方法。

练习 试指出以下每一个课题与三个组成部分(实际系统、模型、计算机)或两个关系(制模、仿真)的主要关系:

数据源	模型描述
行为	模型构造
结构	模型简化
复制有效性	模型有效化
预测有效性	程序检验
结构有效性	仿真机理
正确性	仿真对策
制模者的目的	

§ 1.2 制模与仿真的联系

信息联系是制模很重要而又很少被赏识的一个方面。

在制模活动中的构造和试验阶段,给制模者提出一个经常考虑的问题(下次运行结果如何?)即对于下一步的应用,努力和更富有成效所产生的动机。

另一方面,制模者一旦成功地克服了制模的困难以及满足了自身的追求,他很可能不想进一步把他阐明的任务及他所完成的工作传授给别人。然而,如果他这样做,那么由他的工作所引起的潜在能量就会逐渐消失。换句话说,后世铭记的将不是对制模者所产生的理智和感情的敬意(虽然这是后世应该铭记的)。而任何制模工作的长期贡献,在于这项工作对科学与工业的造益,即或者被直接应用,或者用来指导将来的发展。

由于这个原因,有效的联系包括以下几个方面:

1. 模型和针对模型构造的假设两者的非形式(英文或其他本国语言)描述(informal description)。
2. 模型结构形式(数学的或其他明确的)描述(formal description)。
3. 执行仿真所使用程序的表示法。
4. 执行仿真试验,和试验结果及分析的表示法。
5. 关于模型应用的范围,有效性及运行费用等的结论。
6. 现在模型与其他(过去的和将来的)模型的关系。

更具体地说,假设你研制一种模型并打算使用上述条列作为完成计划报告的一种格式。

该报告可发送至对你工作感兴趣的两类人: (1) 仿真程序或其变形的潜在使用者, 称之为用户(users); (2) 不直接使用程序或模型, 但可能与他们的科学研究和发展有关的其他使用者, 称之为同僚(colleagues)。

用户包括可操纵模型在他们自己程序内作为一“子程序”的制模者, 管理人员以及其他可使用模型预测指导决策机构的决策人。

同僚包括那些在这个领域内, 能工作在交替和平行方向的制模者, 同样在此范围内具有更一般兴趣的那些人。

制模者被包括在用户和同僚中。这是在离开计划某些时间之后, 当你再转向信息报告时值得记住的一个事实。

我们的格式如何有助于传递到用户和同僚?

模型的非形式描述在工作的开发和公开发表两阶段起基本的作用。

开发阶段, 系指制模者的设想、编程、故障排除及试验他的模型等活动的时间, 可能包括“试凑”交替的扩展期。在此阶段将促使你进一步去获得所有部分拼凑成模型的清晰而完整印象(或格式塔 gestalt)。写出模型的非形式描述, 说明其本质但不是细目, 它就能帮助你随着模型的深入研究, 保持此模型的清晰的格式塔。在公开发表阶段, 非形式描述帮助用户和同僚抓住模型的基本轮廓, 并设想在先验概念框架中模型如何进行工作。假设每个人头脑里装着一个“世界模型”, 并假设如果他相当容易地使某个新模型成为他世界模型结构的“铰链”和“支承”, 则就能很好地了解此模型。假如我没有错误, 人们的世界模型不是由一串常见的代数方程和 FORTRAN 计算机编码所组成, 而很象英文语言, 用人们之间的正常会话, 科学的或其他的联系来表示。因此模型的非形式描述是与读者直观建立联系的最自然而有效的方法, 也是你的模型与他的世界模型联系的自然而有效的方法。按此方法, 该报告应能使你的模型在读者的世界模型上有一最终的效果, 即: 或是使之更适合于它的先验结构; 或是当两模型矛盾时, 激励它成为更合适的模型。

显然你的模型与其他模型的关系(方面 6), 将促进它与读者世界模型的联系。同样, 与(方面 5) 结论一道, 它将帮助用户判断仿真程序是否适合于他自己的具体应用, 也帮助同僚在他自己的制模工作中评定模型及其行为的含义。

一般熟悉模型结构之后, 用户和同僚(在不同程度和不同场合之下)会需要获得更详细更确切的景象。形式模型描述(方面 2)和仿真程序的表示法(方面 3), 将为此目的而提供双层解释。第一层是从模型程序实现中分离出来的模型描述。第二层是程序描述(根据指令序列, 实际上执行模型状态的改变操作)。同僚主要感兴趣的是模型描述, 但他可能为了阐明和交叉核对, 需要查阅程序表。用户可能要转移你的程序到他的程序, 调整和/(或)修改程序, 因此要求有详细注解、详细书面程序描述。

如今, 程序语言设计者强调易读性(readability)(懂得语言性能, 有点象样本)和可注释性(annotatability)(程序指令和程序段具有能够隔离、解释和评注的灵活性)。如果以最好的方式使用这些特点, 就能够直接使用程序表来解释合乎程序的许多细目。形式描述则可集中到模型结构的本质上来。(当然, 决定什么是本质的模型结构和什么是非本质的执行程序, 常常不可能如此简单, 我们将在第 16 章作进一步讨论)。

总之, 信息联系的各个方面对于使用是非常重要的且又促进了仿真的研究。本书作为了解它的各个方面打基础。下节讨论产生非形式模型描述最基本的信息联系方面。

§ 1.3 模型的非形式描述

这一章我们提倡一种非形式说明模型的专门方法,即去描述模型的 (1) 分量, (2) 描述变量及 (3) 分量相互关系。

一般说来,分量是构造模型用的各个部分;描述变量作为一种工具用于描述各时间点上所有分量的条件(也包括说明恒定模型特征的“参变量”)。分量的相互关系是分量之间相互影响规则,改变它们的条件,就决定了整个时间上模型行为的进展。这些概念可用图 1-3 作图解说明,它将加深读者的记忆。

我们一开始必须肯定,对于分量、描述变量或分量的相互关系等的选择,不可能给出既定的规则,即它们的选择是制模技术的一部分。对于每个模型结构,它必须最终符合被制模的实际系统。如果对模型各元素的选择已提供了某些规则,则将进一步阐述一个实现的理论,它是一个甚至比制模理论更伟大的计划。这不是说,后者的选择不可做到比前者的选择更有卓识(事实上,如制模者用一具体实际系统积累经验,在这方面能指望改进他的设备),或者某些选择不能从其他选择得来(事实上,这是我们的基本宗旨之一)。而是我们不能指望去规定各元素的选择,甚至去描述这个选择的最好方法。下面简单地提供某些说明

例子,希望把分量,描述变量和分量相互关系的概念切实弄清楚,并对它们的描述增添风趣。

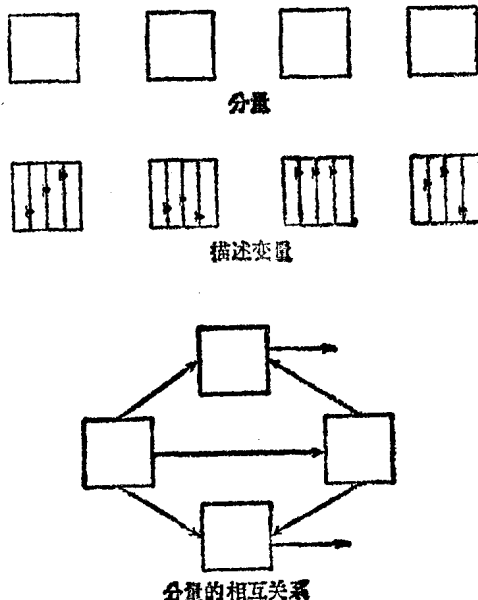


图 1-3 模型描述的各元素

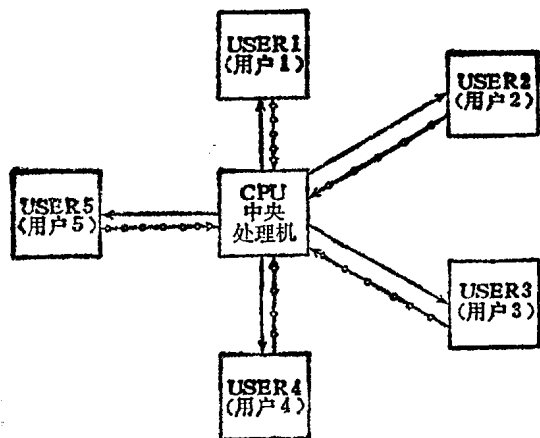


图 1-4 时间分派模型影响图

用户传递数据给中央处理机 (CPU) 并等待回答。当计算机接收到回答,立即开始准备下一轮次的数据。

我们对模型感兴趣的是研究用户如何迅速地完成他的程序编制。

在这节末尾,将建议一个一般的格式作为模型描述的指南。

请注意,以下各个例子仅仅是给以说明,而不是作为实际系统的可能有效模型来兜售它们。

1.3.1 举例

例 1 环形罗宾服务 (Round Robin Service) 如图 1-4 所示,一个具体计算机时间分派系统由一台计算机和在终端与计算机连接的五个用户所组成。

这台计算机依次顺时针服务于每一用户 (这叫做环形罗宾服务)。当他的轮次到来时,

用户传递数据给中央处理机 (CPU) 并等待回答。当计算机接收到回答,立即开始准备下一轮次的数据。

描述

分量

CPU, USER1, USER2, ..., USER5 (把计算机叫 CPU, 并给用户均标上数字)。

描述变量

CPU

WHO·NOW(现在是谁)——范围{1, 2, ..., 5}; WHO·NOW = i , 表示 USER i 由 CPU 服务。

USER i ($i=1, 2, \dots, 5$)

COMPLETION·STATE (完成情况)——范围[0, 1], (处在零与 1 之间的实数); COMPLETION·STATE = s , 表示 USER 已完成他程序进程的一分数 s (零意味着刚开始, 1/2 为一半路程, 1 即表示已经完成等等)

PARAMETER(参变量)

α_i ——范围[0, 1]; USER i 完成程序的比率。分量相互关系

1. CPU 以固定速度依次服务于每个 USER, WHO·NOW 通过 1, 2, 3, 4, 5, 1, 2, ... 循环运行。

2. 当 USER i 获得他的轮次(即 WHO·NOW 取 i 值), 他完成了余下要做工作的一分数 α_i [即若他的 COMPLETION·STATE 是 s , 这将变成 $s + \alpha_i(1-s)$]。

假设

1. 假设给 USER 的服务时间是固定的, 则就不依赖于 USER 的程序。这样在我们的模型(图 4)中表示 USER 对 CPU 影响的带点箭头是不存在的, 虽然它们可以存在于更精细的模型中。

2. 设想 USER i 的进程是在由各自的参变量 α_i 所决定的指数率下进行的。

例 2 政府-人民关系的动态特性 考虑制模一个包括政府和人民组成的国家。政府由一个 PARTY (党) 执政, 即或是 LIBERAL (自由党), 或是 CONSERVATIVE (保守党), 并由执政党决定国内 POLIOY (政策), 也许是 PERMISSIVE (温和) 的或是 COERCIVE (高压) 的政策。人民对政府活动的反应, 在任一时间内均由 CIVIL·STRIFE (内乱) 情况的 LOW (低) 或 HIGH (高) 来得到。

关于人民对政府政策的反应怎样改变, 又政府对人民行为的响应如何去决定政府的政策, 就构成了许多设想。当这样些设想中的一组不是自相矛盾或是不完善时, 它便决定了一个具体的政府-人民的相互关系。下面给出其中的一组以示说明。

描述

分量

GOVERNMENT (政府), PEOPLE (人民)

描述变量

GOVERNMENT

PARTY (党)——范围{CONSERVATIVE, LIBERAL}, 表示 GOVERNMENT 的政治(意识形态)趋势。

POLIOY (政策)——范围{PERMISSIVE, COERCIVE}, 表示 GOVERNMENT 遵循的政策型式。

PEOPLE

CIVIL·STRIFE(内乱)——范围{LOW, HIGH}, 表示在 PEOPLE 中间国内不安宁的一般情况。分量的相互关系

p1. 根据 CIVIL·STRIFE 的 HIGH 程度在下一年总是跟着 COERCIVE 政府政策,

p2. 相反, PERMISSIVE 政府常常在一年时间之内导致内乱保持在 LOW 潮情况。

p3. 只要 CIVIL·STRIFE 处于 LOW, 某 PARTY 仍然执政, 如果骚乱变成 HIGH, 在这一年之内就被更替。

p4. 一旦 CONSERVATIVE 执政, CONSERVATIVE 政府决不改变他的 POLICY; 当保守党采取前任政府的权限时, 也不改变他前任的 POLICY。

p5. LIBERAL 政府对 HIGH CIVIL·STRIFE 的反应是通过 PERMISSIVE 法律, 但在一年之内平静之后又必定转向 COERCIVE 政策。

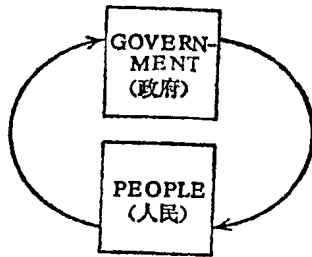


图 1-5 给出了其影响图。

图 1-5 政府-人民的影响图

练习 模型中所作某些假设是什么? 试提供某些可选择的基本原则。

例 3 世界系统 福雷斯特(J. W. Forrester)的世界模型(见第 5 章)是工业、人口、环境和其他变量相互影响的许多制模的产物。这里说明一个最简单的模型。

描述

分量

POPULATION(人口), POLLUTION(污染), INDUSTRY(工业)

描述变量

POPULATION

POPULATION·DENSITY(人口密度)——范围: 正实数; POPULATION·DENSITY = x , 表示地球可居住表面每平方米现有 x 人。

POLLUTION

POLLUTION·LEVEL(污染程度)——范围: 正实数; POLLUTION·LEVEL = y , 表示环境的现在 POLLUTION·LEVEL 是某个未加说明标度的 y 单位。

INDUSTRY

INDUSTRIAL·CAPITALIZATION(工业资本)——范围: 正实数; INDUSTRIAL·CAPITALIZATION = z , 表示世界总工业资产现在值为 z 美元。

分量的相互关系

1. POPULATION·DENSITY 的增长速度随 POPULATION·DENSITY 和 INDUSTRIAL·CAPITALIZATION 的增长线性地增加, 随 POLLUTION·LEVEL 的增加而线性地下降。

2. POLLUTION·LEVEL 的增长速度随 POPULATION·DENSITY 和 INDUSTRIAL·CAPITALIZATION 的增加而线性地增加。

3. INDUSTRIAL·CAPITALIZATION 的增长速度随 INDUSTRIAL·CAPITALIZATION 的增加而线性地增加, 而随 POLLUTION·LEVEL 的增加而线性地下降。