

信息系统工程丛书

信息系统建模

张维明 主编

张维明 刘 忠 肖卫东 等编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

信息系统工程丛书

信息系统建模

张维明 主编

张维明 刘 忠 肖卫东 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书全面论述了信息系统建模的内容,主要包括信息系统建模的基本概念、基本原理、方法和工程技术与工具。全书共分10章。第1章介绍模型与信息系统的概念和相互关系。第2章介绍面向信息系统的建模以及建模的过程。第3章介绍面向需求分析的结构化分析方法。第4章重点论述使用实例驱动的需求分析方法。第5章介绍面向对象的基本概念和几种经典的方法。第6章介绍面向逻辑建模的静态建模方法。第7章介绍对象的行为描述。第8章介绍信息系统建模方法UML。第9章介绍对多主体系统的UML建模。第10章介绍数据建模。

本书可作为高等院校信息工程专业或信息管理专业的研究生教材,也可以供信息系统项目管理人员和系统分析人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

信息系统建模/张维明主编. —北京:电子工业出版社,2002.3

(信息系统工程丛书)

ISBN 7-5053-6895-8

I. 信… II. 张… III. 信息系统—系统建模 IV. N945.12

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第075468号

丛 书 名: 信息系统工程丛书

书 名: **信息系统建模**

主 编: 张维明

编 著 者: 张维明 刘 忠 肖卫东 等

策划编辑: 秦 梅

责任编辑: 张燕虹 张 旭

排版制作: 电子工业出版社计算机排版室

印 刷 者: 北京兴华印刷厂

装 订 者: 三河市双峰装订厂

出版发行: 电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 15.5 字数: 396千字

版 次: 2002年3月第1版 2002年3月第1次印刷

书 号: ISBN 7-5053-6895-8
TP·3921

印 数: 5000册 定价: 30.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;

若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

从 书 序

从现实世界的角度看,客观世界是由物质、能量和信息三大基本要素组成的,人类的社会生活每时每刻都离不开信息。从远古时代开始,人类就一直在同信息打交道,围绕着信息形成了不同的信息作业,包括信息的采集、存储、表示、传递、加工处理、检索利用和控制等,所有这些环节形成了信息系统,并作为客观世界每个系统的一个子系统或显式或隐式地存在着。

从科学技术的角度看,信息系统是在 20 世纪中叶由信息科学、计算机科学、管理科学、决策科学、系统科学等学科相互渗透交叉而发展起来的,经过多年的研究目前已经形成了比较完整的独具特色的体系。信息工程是 80 年代出现的以建立信息系统为目标的新兴学科,它是用系统工程的原理、方法来指导信息系统建设与管理的一门工程技术学科,主要研究各级各类信息系统建设和管理中的规律性的问题。它既不是“信息的系统工程”,也不是“信息系统的工程”,而是“信息系统的系统工程”。一般认为,信息工程的目标是为以计算机和其它信息技术为手段的各类信息系统提供科学的开发方法、管理手段及有关的工具、标准、规范,通常不包括通信工程、信号处理等具体学科领域的技术。

信息工程的研究范围主要包括:

(1)信息系统的基本理论。信息系统的基本观点、认识论和方法论等。

(2)信息系统建模。信息系统概念模型、逻辑模型和物理模型的描述、观察、试验与验证等。

(3)信息系统开发。信息系统建设的概念、方法、评价、规划、工具、标准等一系列相关技术问题和工程问题。

(4)信息系统支撑技术在信息系统中的应用。数据库/数据仓库、网络通信、人机交互、分布计算、决策支持、人工智能等技术如何满足信息系统各层次用户的需求,实现业务管理、信息共享、分析决策等功能,并在组织和人的参与下最终达到信息系统的目标。

(5)信息系统集成。研究系统集成的原则、方法、技术、工具和有关的标准、规范,应用先进的相关技术,将支持各个信息“孤岛”的小运行环境,集成统一在一个大运行环境中,最终形成一体化的信息系统。

《信息工程丛书》是由国防科技大学管理学院组织多位专家和科研人员面向信息工程专业撰写的教材类图书。作者所在的单位是 70 年代末在钱学森院士的亲自倡导下建立起来的,在国内最早开设了信息工程专业。作者长期从事信息工程方面的教学、科研和开发,这套丛书是其多年学术研究和科技开发的成果总结,也是其多年教学工作中的实践积累,从丛书体系的设置到内容的安排,都基本体现了对当今信息工程领域前沿技术的把握。

这套丛书准备分批出版,第一批由《信息工程原理与工程》、《信息工程集成技术》、《信息工程建模》、《多媒体信息系统》、《智能协作信息技术》、《数据仓库原理与应用》、《语义信息模型及应用》等 7 部教材和专著组成,再加上该单位近年已出版的《决策支持系统技术》和《智能决策支持技术》两部研究生教材,基本上已覆盖了上述的信息工程主要研究范围。其中:

《信息工程原理与工程》主要介绍信息系统的基本概念、基本原理、技术和设计开发方法。

具体包括信息系统与信息系统工程的基本概念,信息系统中的基础理论、开发方法,结构化系统分析、系统设计和面向对象的分析设计方法,信息系统战略规划,系统实施,信息系统对计划、控制、决策的支持,计算机辅助信息系统开发等。

《信息系统集成技术》主要介绍信息系统集成的基本概念、基本原理和设计开发方法。首先介绍信息系统集成技术的发展,然后从体系结构入手,分网络集成、数据集成和应用集成三个层次展开对信息系统集成的论述,并给出了系统集成的案例。

《信息系统建模》主要介绍信息系统建模的基本概念、基本原理、方法、工程技术与工具。具体包括面向信息系统建模的思想,需求建模,逻辑建模,对象建模,Agent 建模,数据建模,统一建模语言等,是国内第一部按照较完整的体系专门介绍信息系统建模技术的著作。

《多媒体信息系统》主要介绍多媒体信息系统的基本概念、原理、技术和应用,主要内容包括多媒体信息系统的体系结构和数据模型、多媒体数据库和信息管理、多媒体通信和网络、多媒体人机交互与表现技术、原型系统与应用等。

《智能协作信息技术》主要介绍智能协作信息技术及系统的基本概念、基本原理和设计开发方法。具体包括智能协作信息技术的发展概况,智能主体概念、性质、内部结构和实现方法,多智能主体协作的基本原理、实现技术等,还介绍了智能协作信息系统的开发方法和智能协作信息技术在工业、管理、办公自动化等领域的应用。它是国内第一部全面介绍智能协作信息技术和智能协作信息系统的专著。

《数据仓库原理与应用》主要介绍数据仓库的概念、基本原理、规划、开发方法以及相关算法,包括数据仓库的发展、技术体系、元数据管理、分析设计方法和开发工具,并对数据开采的主要理论和方法、联机分析等应用技术作了深入的阐述,是一本理论与实践相结合的教材,是国内较为全面地分析数据仓库、开发数据仓库的书籍。

《语义信息模型及应用》深入到目前信息管理领域的前沿,探讨了语义信息模型的基本概念,并以 XML 为具体实现手段介绍了语义信息模型在信息组织、信息处理、信息服务、信息交换等方面高级应用的原理与实现机制。

除《语义信息模型及应用》以外,丛书中所有教材都作为内印教材或讲义试用过多次,吸收了许多专家学者以及学生的意见。

这套丛书既能够使广大读者从整体上把握知识结构、理清相关技术领域的关系和分类,又能够从中找到每项具体理论、技术、方法、工具的介绍和例解,再加上融合了多项“九五”期间的高水平科研成果,应该使这套丛书具有较高的系统性和实用性。

《信息系统工程丛书》是一套理论与工程实践并重的著作,它不仅可作为相关专业的大学本科和研究生系列化教材和参考书,而且也可以为从事信息系统工程的科研人员提供参考。我们相信,这套丛书的出版,将对我国信息系统工程的全面、深入发展起到重要的推动和促进作用。

《信息系统工程丛书》编委会
2001 年 6 月

前 言

现代科学技术的飞速发展使人类认识和理解客观世界的能力、手段发生了质的变化。作为现代科学技术的标志和重点发展学科,信息技术(Infomrtion Technology, IT)改变了人类生活和工作的方式。我们每天都与信息 and 信息系统打交道,未来我们将更加依赖于信息和信息系统。能进行知识处理的信息系统有能力帮助人们学习、工作,认识到这一点是十分必要的。信息系统是建立在客观世界的真实系统中的“神经”系统,它需要在对真实系统进行抽象的基础上建立自己的逻辑模型,从而利用现代计算机技术和通信技术根据逻辑模型建立物理模型,即信息系统。为了支持管理者的辅助决策职能,信息系统需要处理大量的数字模型。由此可见,模型是信息系统建立的基础。

目前,信息系统的建模与开发技术已经得到充分发展,并逐步从单一的管理信息系统(MIS)向决策支持系统(DSS),智能决策支持系统(IDSS),执行者信息系统(EIS)以及分布式、组件化、智能化和多主体方向发展。随着系统的规模和复杂度越来越大,对信息系统建模的要求也在不断地提高。针对这一要求,本书对当前信息系统的建模方法进行了归纳和总结,给读者提供一个信息系统建模的完整视图,信息系统建模的新概念、新思想和新方法。

本书共分10章,全面论述了信息系统建模的方法。第1章介绍模型与信息系统的概念和相互关系。第2章介绍面向信息系统的建模以及建模的过程,形成建模的过程性和层次性。第3章和第4章主要介绍信息系统的需求分析建模。第5章至第9章介绍面向对象的逻辑建模方法。第10章介绍面向数据的建模方法。全书由张维明、刘忠、肖卫东、邓苏、陈卫东、杨强、谢卫平、戴超凡、曹阳、钱猛编著。

由于信息系统的建模包含了丰富的内容,覆盖面宽,综合并交叉了多门学科,因此本书在内容的取舍上难免不尽如人意,各章节之间也有风格不够统一之嫌,相信读者定能理解。

本书中的研究内容及撰写工作得到了国防科技大学信息系统工程重点实验室的资助,并得到了国防科技大学管理学院的领导和许多老师的大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,加上时间紧张,错误在所难免,欢迎批评指正。

作 者

《信息系统工程丛书》编委会

主任委员 郭桂蓉 总装备部科技委副主任,中国工程院院士,教授

副主任委员 卢锡城 国防科技大学副校长,中国工程院院士,教授

编委 高小山 中科院系统科学研究所副所长,研究员

怀进鹏 北京航空航天大学副校长,教授

钟玉琢 清华大学计算机系教授,中国计算机学会多媒体专委会主任

张维明 国防科技大学管理学院副院长,教授

文宏武 电子工业出版社副社长

执行秘书 秦 梅 肖卫东

《信息系统建模》作者名单

主编 张维明

编著 张维明 刘 忠 肖卫东 邓 苏 陈卫东 等

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 模型	(1)
1.1.1 模型的概念	(1)
1.1.2 模型的组成	(3)
1.1.3 模型的表示	(3)
1.1.4 模型的分类	(4)
1.1.5 模型与仿真	(6)
1.1.6 模型建立的基本原则	(6)
1.2 信息系统	(7)
1.2.1 基本概念	(7)
1.2.2 信息系统开发过程	(11)
1.3 模型与信息系统	(20)
1.3.1 信息系统规划模型	(20)
1.3.2 信息系统的逻辑模型与物理模型	(21)
1.3.3 信息系统的数据库模型与知识表达	(22)
1.3.4 信息系统中的模型	(23)
第 2 章 面向信息系统的建模	(25)
2.1 信息系统建模	(25)
2.1.1 建模的意义	(25)
2.1.2 建模的特点	(25)
2.2 面向信息系统的建模过程	(26)
2.2.1 可行性分析和调查	(26)
2.2.2 功能模型精化	(26)
2.2.3 设计精化	(27)
2.2.4 实现	(28)
2.2.5 测试	(28)
2.2.6 部署与交付	(29)
2.3 面向信息系统的建模方法	(29)
2.3.1 面向需求分析的建模方法	(29)
2.3.2 面向对象的逻辑建模方法	(31)
2.3.3 面向数据的建模	(34)
第 3 章 需求分析的结构化分析方法	(35)
3.1 结构化分析方法	(35)
3.1.1 数据流图	(35)
3.1.2 层次 DFD	(37)

3.1.3	DFD 的建模	(39)
3.1.4	DFD 的检查与改进	(41)
3.1.5	创建数据流模型	(43)
3.2	结构化分析和设计方法 IDEF0	(43)
3.2.1	IDEF0 的特点	(44)
3.2.2	功能模型的表示	(47)
3.2.3	IDEF0 建模过程	(50)
3.2.4	IDEF0 方法与数据流分析方法比较	(52)
第 4 章	使用实例驱动的需求分析建模	(54)
4.1	使用实例方法	(54)
4.1.1	角色	(54)
4.1.2	使用实例	(56)
4.1.3	建模方法	(59)
4.2	使用实例驱动的 OOSE 方法	(60)
4.2.1	使用实例模型	(61)
4.2.2	系统界面描述	(61)
4.2.3	问题领域模型	(62)
4.2.4	分析模型	(62)
4.3	顺序图	(64)
4.3.1	顺序图的表示	(65)
4.3.2	消息	(65)
4.3.3	消息类型	(67)
4.4	协同图	(69)
4.4.1	链接	(69)
4.4.2	消息	(70)
4.4.3	数据	(70)
4.4.4	链接的类型	(71)
4.4.5	对象的创建和破坏	(72)
第 5 章	面向对象的逻辑建模	(73)
5.1	概述	(73)
5.2	面向对象的基本概念	(73)
5.3	面向对象的建模方法	(74)
5.4	Coad 与 Yourdon 方法	(75)
5.4.1	面向对象的分析(OOA)	(75)
5.4.2	面向对象的设计(OOD)	(84)
5.5	OMT 方法	(88)
5.5.1	OMT 的三个模型	(88)
5.5.2	对象模型技术的开发过程	(92)
5.6	Booch 方法	(94)
5.6.1	Booch 方法的基本模型	(95)

5.6.2	Booch 方法的建模过程	(97)
第 6 章	面向对象的静态建模	(99)
6.1	对象和类	(99)
6.1.1	类的定义	(99)
6.1.2	属性	(101)
6.1.3	操作	(103)
6.1.4	对象图	(105)
6.1.5	抽象类与具体类	(106)
6.1.6	枚举类	(107)
6.1.7	实用类	(107)
6.2	类的关系	(108)
6.2.1	关联关系	(108)
6.2.2	聚合关系	(111)
6.2.3	继承关系	(113)
6.2.4	依赖关系	(117)
6.2.5	精化关系	(117)
6.3	包	(118)
6.3.1	包的表示	(118)
6.3.2	包的关系	(118)
第 7 章	对象的行为描述	(120)
7.1	状态机模型	(120)
7.1.1	状态机定义	(120)
7.1.2	状态和组合状态	(121)
7.1.3	转移	(121)
7.1.4	并发状态机	(122)
7.1.5	状态转移的同步	(123)
7.1.6	条件转移	(123)
7.1.7	不确定转移	(123)
7.2	基于状态机的可视化建模	(124)
7.2.1	状态	(124)
7.2.2	转移	(126)
7.2.3	并发状态机	(127)
7.2.4	状态机的建模方法	(128)
7.3	活动图	(129)
7.3.1	活动的基本描述	(130)
7.3.2	活动的并发与同步	(131)
7.3.3	多活动的通信	(131)
7.4	Petri 网	(132)
7.4.1	Petri 网的发展历史	(132)
7.4.2	基本概念	(133)

7.4.3 高级网系统	(139)
7.5 Petri 网的建模	(146)
7.5.1 Petri 网建模的一般方法	(146)
7.5.2 信息系统的 Petri 网模型	(149)
7.5.3 Petri 网建模实例——通信网络仿真建模	(154)
第 8 章 统一建模语言 UML	(159)
8.1 统一建模语言 UML 简介	(159)
8.2 UML 表示法	(159)
8.2.1 使用实例图	(159)
8.2.2 静态图	(160)
8.2.3 行为图	(162)
8.2.4 交互图	(163)
8.2.5 实现图	(163)
8.3 统一的建模过程	(165)
8.3.1 软件工程过程的概念	(165)
8.3.2 Rational 的统一过程	(166)
8.3.3 过程的特点及两维空间	(166)
8.3.4 时间维:阶段与迭代	(167)
8.3.5 过程的静态结构	(170)
8.3.6 核心工作流程	(171)
8.3.7 统一过程的基本特征	(173)
第 9 章 面向多 Agent 系统的建模	(176)
9.1 Agent 系统和多 Agent 系统	(176)
9.1.1 Agent 的概念和特性	(176)
9.1.2 多 Agent 系统的概念和特性	(177)
9.2 面向多 Agent 系统的交互协议建模	(178)
9.2.1 交互协议和协议图	(178)
9.2.2 交互协议的分层建模	(180)
9.3 Aegnt 交互协议描述的 UML 扩展	(189)
9.3.1 丰富角色规范	(189)
9.3.2 包扩展	(192)
9.3.3 部署图扩展	(193)
9.3.4 复制和分裂特性描述	(193)
9.3.5 消息语义的扩展	(194)
9.3.6 Agent 生命线和交互线程描述	(195)
9.3.7 嵌套协议	(197)
9.3.8 参数化协议	(198)
第 10 章 面向数据的建模	(200)
10.1 数据建模的含义	(200)
10.2 数据模型	(201)

10.2.1	层次数据模型	(202)
10.2.2	网络数据模型	(202)
10.2.3	关系数据模型	(203)
10.2.4	基于逻辑的数据模型	(204)
10.2.5	多维数据模型	(206)
10.3	语义数据建模	(209)
10.3.1	基本概念	(210)
10.3.2	实体-关系图	(211)
10.3.3	建模过程	(214)
10.4	IDEF1X 的发展过程	(215)
10.5	IDEF1X 方法的语法和语义	(216)
10.5.1	实体(Entity)	(216)
10.5.2	域(Domain)	(217)
10.5.3	视图(View)	(218)
10.5.4	属性(Attribute)	(218)
10.5.5	关键字(Key)	(220)
10.5.6	联接关系(Connection Relationship)	(221)
10.6	IDEF1X 方法的建模过程	(225)
10.6.1	阶段 0:设计的开始	(225)
10.6.2	阶段 1:定义实体	(226)
10.6.3	阶段 2:定义关系	(226)
10.6.4	阶段 3:定义键	(227)
10.6.5	阶段 4:定义属性	(228)
参考文献		(230)

第1章 概 论

现代技术的飞跃发展，使人类认识和理解客观世界的能力和手段发生了质的变化。作为现代科学技术的标志和重点发展学科，信息技术（Information Technology, IT）改变了人类生活和工作的方式。我们每天都与信息 and 信息系统打交道，未来我们将更加依赖于信息和信息系统，能进行知识处理的信息系统有能力帮助人们学习、工作，认识到这一点是十分必要的。信息系统是建立在客观世界的真实系统中的“神经”系统，它需要在对真实系统进行抽象的基础上建立自己的逻辑模型，利用现代计算机技术和通信技术根据逻辑模型建立物理模型，即信息系统。由此可见，模型是建立信息系统的基础，本章重点介绍模型、信息系统和信息系统中的模型。

1.1 模型

本节从模型的概念、模型的组成、模型的表示和模型的分 4 个方面介绍模型的基本知识，并探讨模型与信息的关系和建立模型的基本原则。

1.1.1 模型的概念

什么是模型？尽管没有统一的定义，但通常认为：如果把现实世界中的某些事物叫做一个现实原型，那么模型就是对这种现实原型的一种抽象或模拟。这种抽象或模拟不是简单的“复制”，而是强调原型的本质，扬弃原型中的次要因素。因此，模型既反映原型，又不等于原型，或者说它是原型的一种近似。例如，地球仪就是对地球这一原型的本质和特征的一种近似和集中反映的模型。

按照这种说法，模型的意义是很广泛的。自然科学和工程技术中的一切概念、公式、定律和理论都是某种现实原型的模型。社会科学中的学说、原理、政策乃至小说、美术、表格和语言等，也都是某种现实原型的一种模型。例如，牛顿第二定律是物体在力的作用下，其运动规律这个原型的一种模型；计算机是人的某些功能或智能这个原型的一种模型。

真实世界是复杂的和动态的。基于这个事实，研究客观世界的方法是：针对人与外部世界的相互作用，在科学的基础上建立问题空间的“形式”模型，用这一模型来反映和描述所要解决的真实问题。科学研究的绝大部分工作就是实现对问题的形式化描述和建立模型。例如，自然科学是通过对大自然的观察和试验，总结、提炼出对客观事物的抽象表示方法和定律，这些方法和定律是已被证实的对事物表述的“形式化”模型。

人类认识世界和改造世界的过程首先是建立模型和分析模型，然后根据分析的结论去指导人类的行动。建立模型是通过对客观事物建立一种抽象的表示方法，用来表征事物并获得对事物本身的理解，从而建立现实世界的模型；分析模型是依据模型进行计算，求解验证，通过考察模型获得对客观事物的分析结论。

目前关于模型的定义大致有以下几种：

（1）模型是现实系统的一个抽象。由于要描述现实系统，因此它必须反映实际，又由

于抽象的特征，它又必须高于实际，即不仅能反映实际，而且还能指导其他具有共性问题的解决。

(2) 模型是实际系统或过程的代表或描述，它是实际系统一部分属性的抽象或模仿，而不是全部属性的复制。模型的实质是在一组简化的假设条件下，描述一个实体活动的最本质的属性。

(3) 模型是集中反映系统有关信息的实体，它是对相应的真实对象和真实关系中那些有用的和令人感兴趣的特性的抽象化。因此，模型描述可视作为对真实世界中的物体或过程相关的信息进行形式化的结果。

(4) 根据目标对构成系统要素的因果关系和要素的特性进行定量化，并把这些因素结合起来进行描述的系统，称之为模型。

(5) 模型是对一切客观事物及其运动形态的特征和变化规律的一种定量抽象，它能在所研究的主题范围内更普遍、更集中、更深刻地描述实体的特征。

模型的建立不是“原型的复现”，而是按研究目的之实际需要和侧重面，寻找一个便于进行系统研究的“替身”。在较复杂的情况下，对于由许多实体组成的系统来说，由于其研究目的的不同，对同一个系统可以产生相应于不同层次的多种模型。例如，某些模型反映了整个实际系统的部分属性，另一些模型则提供了系统更全面的描述；某些模型反映了实际系统的全部组成实体，另一些模型仅强调了系统的某些侧面，而忽略了另外一些方面。这些现象表明，根据系统研究的实际需要，可对模型进行粗化（简化）或精化（详细化），也可以对模型描述进行分解或组合。

模型的分析是指应用模型进行计算或实验，以便研究客观事物行为的过程。建立模型的目的是为了用模型来描述事物，而分析的过程既检验了模型，又通过模型求解获得了对客观事物的充分理解。前者是一个对于实际事物原型本质描述的实体或数学方程和符号等具有具体结构形式的东西，而后者则表现为一个过程；前者是静态的，后者则是动态的。

例如，处理军事作战问题时，由于问题本身的不可实地表现性，通常先在军事想定的基础上建立一个模型，利用模型来反映作战指挥问题。对模型的求解和分析将使我们了解作战行动可能的结果。

图 1.1 说明了建模的过程。

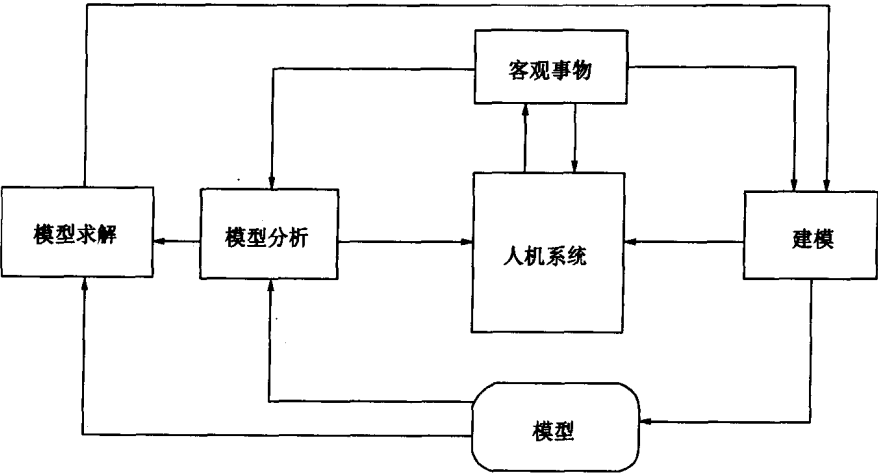


图 1.1 建模过程

应当指出的是，在信息系统中，模型可以理解作为一种信息处理的方案，它包括某种信息的转换（不仅仅是信息的存储、检索或显示）。模型的表达方式有多种，其中包括数学表达式、英文语句或计算机程序。

1.1.2 模型的组成

模型是用来描述现实系统的，一般由下列几个基本部分组成：

- (1) 系统，即描述的对象。
- (2) 目标，系统的目标。
- (3) 组分，构成系统的各种组分或子系统。
- (4) 约束条件，系统所处的环境及约束条件。
- (5) 变量，表述各组分的量的变化，它分内部变量（系统内部）、外部变量（系统外部和环境）及状态变量。
- (6) 相关，表述不同变量之间的数量关系。

如图 1.2 所示，边界内为一描述的系统，系统内有内部变量和状态变量，外部变量包括环境与约束条件以及输入的一些数据。在一定的约束条件下，当系统的外部输入发生变化时，通过模型描述的定量关系，就能求解出系统的输出结果。

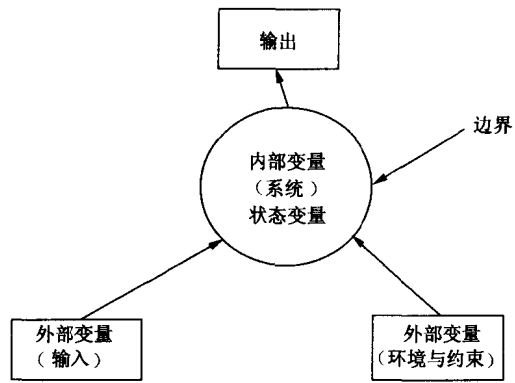


图 1.2 模型的环境

1.1.3 模型的表示

模型可以用一个 6 元组表示：

$$M = \{O, G, T, V, R, S\}$$

- 其中， O 表示模型的对象集；
- G 表示模型的目标集；
- T 表示模型系统所处的环境及约束条件集；
- V 表示模型的变量集，包括内部变量、外部变量及状态变量；
- R 表示模型变量之间的关系集；
- S 表示模型的状态集，从初态到终态。

模型的使用已经在很多方面显示了模型的功效，但一般认为还远没有发挥模型的潜能。事实上管理者在很多情况下废弃、用错或不习惯于使用模型的根源主要在于模型表示。

模型在计算机中的表示方法和存储形式称为模型表示。通常对模型表示有下列基本要求：

1. 一致性

模型的表示应该与数据的表示相一致，以利于与数据的衔接和调用，并便于用统一的方式进行管理。

2. 模块性

模型表示应该具有基本单元形式和组合功能，以便于多个基本模型组合成复杂模型，使一个模型系统能够适应多种不同的应用环境，方便模型的建立、修改和维护。

3. 独立性

不仅每个模型应该独立，而且整个模型库应该与数据库和方法库分别独立存放。这样不仅模型的修改不会影响到数据及方法，而且便于模型资源共享。

4. 智能性

模型表示应该基于知识，并且尽可能具有一些智能性，以便和知识库协同工作。

1.1.4 模型的分类

1.1.4.1 抽象分类

从抽象的角度看，可把模型分为三类，即概念模型、逻辑模型和物理模型。模型的这种分类方法，能帮助我们在构造模型的时候，从概念上由浅入深，条理清楚，步骤扼要。

1. 概念模型

概念模型是最抽象的模型，它是人们根据所要达到的目标和所具备的领域知识、经验等构造出来的。它可能很不完善，甚至无法实现，但它表述了对象系统的主要特征，描绘了其大致的轮廓，并对以后模拟、认识对象系统有深刻的意义。

2. 逻辑模型

逻辑模型是在概念模型的基础上构造出来的，其在原理上是行得通的。它考虑了模型总体的合理性、结构的合理性和实现的可行性，但它只是在逻辑上说明对象系统，而没有具体的细节。

3. 物理模型

物理模型是一个完全确定了的模型，是一个可实现的、实在的模型。它在逻辑模型的基础上，经过对具体元件和具体细节的说明，构成了具有具体实现细节的合理的模型。

1.1.4.2 形式分类

从大的方面来说，模型可以分成社会科学模型和自然科学模型两大类，其中每一类还可以细分。例如经济模型、法律模型、工程模型、医学模型等。但是这种分类意义不大，因为我们学习模型，不只是一要看懂模型，更重要的是要学会构造模型。因此只有从规律上分类，才能使我们获得构造模型的本领。按照这个观点，模型大致可分成4类或4种形式。

1. 物理（比例）模型

由于物理模型（Physical Model）是对象系统的物理再现，因此它的抽象级别最低。物理模型也称为实体模型，可分为实物模型和类比模型。

（1）实物模型：根据相似性理论制造的按系统比例缩小（或放大或原尺寸）的实物。

例如，风洞实验中的飞机模型、水力系统实验模型、船舶模型等。

(2) 类比模型：在不同的物理学领域（力学、电学、流体力学等）的系统中各自的变量有时服从相同的规律，根据这个共同的规律可以制定出物理意义完全不同的比拟和类推模型。例如，在一定条件下，由节流阀和气容构成的气动系统的压力响应与一个由电阻和电容所构成的输出电压特性具有相似的规律，因此可以用比较容易进行实验的电路来模拟气动系统。

2. 结构模型

结构模型（Structural Model）主要反映系统的结构特点和因果关系。结构模型中的一类重要模型是图模型。

3. 仿真模型

仿真模型（Simulation Model）是通过计算机上运行的程序所表示的模型。物理模型、数学模型和结构模型一般都能转化为仿真模型。关于不同控制策略或设计变量对系统的影响，或是系统受到某种扰动后可能产生的影响，最好是在系统本身上进行试验，但这并非永远可行，在某些情况下，建立系统的仿真模型是有效的。

4. 数学模型

数学模型（Mathematical Model）简称 MM，它是用数字、拉丁字母、希腊字母以及其他符号来体现和描述现实原型的各种因素形式以及数量关系的一种数学结构。它通常表现为定律、定理、公式、算法以及图表等。这是一种最一般、最抽象的模型，也是自然科学和工程技术中最常用的模型。近些年，数学模型也越来越多地用于社会科学，如经济管理模型、人口模型等。

数学模型可以是一个或一组代数方程、微分方程、差分方程或统计学方程，也可以是它们中某一些的适当组合。通过这些方程定量或定性地描述系统各变量之间的相互关系或因果关系。除了用方程描述的数学模型外，还有用其他数学工具，如代数、几何、拓扑、数理逻辑等描述的模型。数学模型描述的是系统的行为和特征而不是系统的实际结构。

数学模型还可以进一步分类，而且分类方法颇多。例如，按变量间的关系，可分为几何模型、代数模型、方程模型、概率统计模型、逻辑模型等；按变量的形式，可分为确定性模型、随机性模型和模糊性模型，或者分成连续性模型和离散性模型。这两种分类方法都是从数学角度出发的经典分类法，它的优点是：模型的数学结构清晰，便于求解。但是对于一个实际问题来说，在模型建立以前，我们并不知道它是哪类的，这不利于给出同类问题如何建立模型的大体方法。因此，我们主张按用途分类，这样可以给出同类问题的统一处理方法，便于应用。有关数学模型的模型公式分类见表 1.1。

表 1.1 数学模型公式分类

	模型的描述 变量的轨迹	模型的时间集合	模 型 公 式	变 量 范 围	
				连 续	离 散
混合（变化）模型	连续（变化）模型	连续-时间模型	偏微分方程	可	
			常微分方程	可	
	离散（变化）模型	离散-时间模型	活动扫描	可	可
			差分方程	可	可
			有限状态机		可
		离散-事件模型	马尔可夫链		可
			离散事件		可
			过程交互		可