

高等院校信息技术规划教材

AnyLogic建模与仿真

Ilya Grigoryev 著

韩鹏 韩英华 李岩 汪晋宽 译

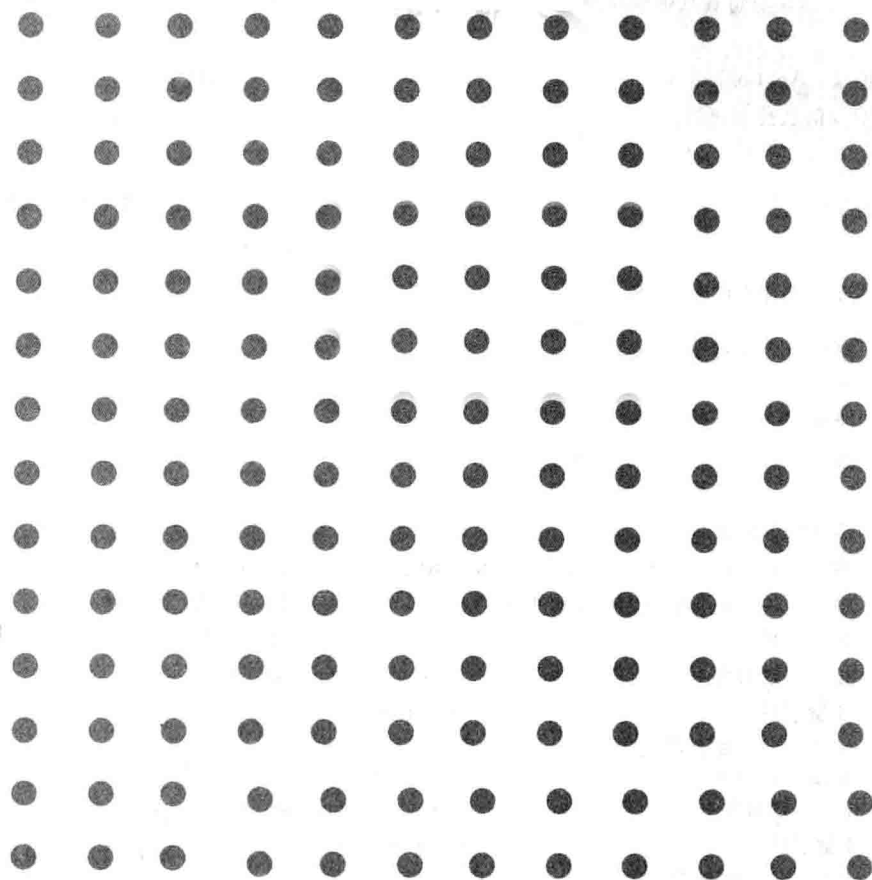
清华大学出版社



高等院校信息技术规划教材

AnyLogic建模与仿真

Ilya Grigoryev 著
韩鹏 韩英华 李岩 汪晋宽 译



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书结合作者多年来开发和使用 AnyLogic 软件的丰富经验,从建模与仿真的基本概念开始,简明地介绍利用 AnyLogic 软件构建各类模型并进行仿真的理论方法和操作过程,使读者快速了解综合运用系统动力学、离散事件和基于智能体等多种建模方法联合进行模型构建和仿真,依托 AnyLogic 强大可靠的建模能力和直观易用的操作界面解决学习、科研与生产中的实际问题。

本书共 6 章,分别介绍建模与仿真的基础知识、AnyLogic 的安装与激活方法、运用 AnyLogic 进行离散事件建模、基于网络的建模、基于智能体的建模和系统动力学建模。

本书可作为高等院校信息工程、系统工程及物流管理等相关专业师生的参考教材、实验用书或建模类学术竞赛的培训用书以及研究生和相关工程技术人员的参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

北京市版权局著作权合同登记号 图字 01-2014-2553

图书在版编目(CIP)数据

AnyLogic 建模与仿真/(俄罗斯)格里高利耶夫(Grigoryev, I.)著;韩鹏等译. —北京:清华大学出版社,2014

书名原文: AnyLogic 6 in three days: a quick course in simulation modeling

高等院校信息技术规划教材

ISBN 978-7-302-35090-3

I. ①A… II. ①格… ②韩… III. ①离散系统(自动化)—系统仿真—高等学校—教材
IV. ①TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 056204 号

责任编辑:袁勤勇 赵晓宁

封面设计:常雪影

责任校对:时翠兰

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:7.5

字 数:172 千字

版 次:2014 年 5 月第 1 版

印 次:2014 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:20.00 元

产品编号:057220-01

译者序

仿真是我们理解世界的重要方式。仿真赋予了我们强大的能力,让我们可以把生活中的经验和数据,转化成为对事物规律的模型,进而实现对世界的探索和对未来的预测。近年来,随着计算机技术的发展、建模方法和仿真理论的进步,仿真正在有力地探索和改变着我们生活的世界。

相比于当下的纷繁仿真理论和冗杂的公式概念,一款直观、简便、好用的仿真工具往往会使仿真的学习者受益良多,AnyLogic就是这样的一款优秀软件。作为现今唯一一款完整支持多方法联合建模的仿真软件,AnyLogic既有强大的性能和完备的建模工具,又具有直观友好的图形界面和开放易用的编程方式,能够胜任绝大多数情况下的仿真工作。《AnyLogic 建模与仿真》作为 AnyLogic 软件相关的第一部教材,以其全面周详的图文和深入浅出的讲解成为目前仿真领域中最好的多方法仿真建模入门工具书。

在俄罗斯 AnyLogic 公司及 AnyLogic 中国总代理北京格瑞纳电子产品有限公司的帮助下,我有幸组织开展并完成了该书的翻译工作。希望该书的发行能够有助于国内科技工作者们的仿真建模工作,并为更多学习 AnyLogic 与多方法仿真建模的老师和同学们提供帮助。仿真建模的学习是一个持续而深入的过程,读者可以在学习完本书的既定课程后,参考本书的推荐书目以及加入 AnyLogic 官方中文网站参与更多的学习讨论,下载更多的学习资料。

本书的翻译出版得到了下列项目的资助:

- 国家自然科学基金项目“面向电动汽车大规模应用的优化控制与调度关键技术研究(No. 61374097)”
- 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目“面向智能电网的信息通信技术研究(N110423004)”
- 辽宁省自然科学基金项目“智能电网配用电能效协同优化调度的研究(No. 201202073)”
- 河北省高等学校科学技术研究项目“光伏多点接入环境下多时空发电功率短期预测(QN20132010)”

本书由韩鹏组织翻译,韩英华、李岩、汪晋宽参与了本书部分内容的翻译工作。该书的翻译过程中还得到了原书作者 Ilya V. Grigoryev、东北大学秦皇岛分校工程优化与智能天线研究所赵强博

士、东北大学卓胜广教授和谭雷博士的支持与鼓励,在此一并感谢。受译者水平所限,本书尚有不足之处,诚恳希望读者批评指正。真诚邀请各位读者将建模与仿真工作过程中的点滴与我进行交流,愿我们在学习中共同成长。

韩 鹏

hp@mail.neuq.edu.cn

东北大学

2013 年 11 月 1 日

致中国读者

亲爱的读者：

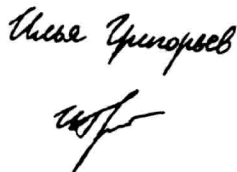
我非常荣幸能向你们介绍《AnyLogic 建模与仿真》一书。AnyLogic 是一款独特的工具软件，它能支持 3 种主要的建模方法，已经在全世界被超过 15 000 名研究人员和商业分析人员所广泛采用。

现在这本书即将呈献给中国读者，我相信它会成为一个重要的知识资源，让中国的工程师们能够采用建模技术面对商业领域的各种挑战。

对于初次涉猎建模技术的朋友，《AnyLogic 建模与仿真》一书是一个有益的向导，能让他们更快地掌握 AnyLogic 环境和建模技术。这本书也适合作为高等教育机构的仿真课程教材。

感谢我们在中国的合作伙伴和朋友们为这本书在中国的出版所付出的努力。我也要特别地感谢韩鹏对该书的翻译和清华大学出版社所做的大量工作。

祝愿每一位读者阅读愉快，并愿大家在学习仿真和 AnyLogic 的道路上不断前进！



2013 年 11 月 12 日

前言

Foreword

这是第一本由 AnyLogic 开发人员撰写的实践性的 AnyLogic 6 教材。AnyLogic 是一个独特的仿真软件,它支持 3 种仿真建模方法:系统动力学,离散事件和基于智能体建模,可以用来创造多方法的模型。

本书基于为期 3 天的 AnyLogic 基础培训课程。在结构上围绕 4 个内容展开:一个制造业模型、一个仓库模型、一个消费者市场模型以及一个传染病模型。此外,书中也给出了一些用于不同建模方法的理论。

读者可以将这本书视为学习 AnyLogic 的入门指南。读过这本书并且完成练习后,将能够利用过程流程图创造离散事件模型,绘制库存和流量图,以及建立简单的基于智能体的模型。

目录

Contents

第 1 章 建模与仿真模型	1
1.1 模型的种类	2
1.2 解析方法与仿真建模	2
1.2.1 解析模型(Excel 电子表格)	2
1.2.2 仿真模型	3
1.2.3 仿真建模的优势	4
1.3 仿真建模的应用及抽象层级	4
1.4 仿真建模的三大方法	5
第 2 章 安装并激活 AnyLogic	7
第 3 章 运用 AnyLogic 进行离散事件建模	10
3.1 建立一个简单模型	11
3.2 建立模型动画	19
3.3 模型组装操作	27
3.4 打包过程建模	34
3.5 添加资源	39
第 4 章 基于网络的建模	47
4.1 网络和存储建模	50
4.2 添加运送产品的卡车	58
4.3 建立库存补充政策	62
4.4 添加 3D 动画	72
第 5 章 基于智能体的建模	80
5.1 考虑广告影响	81



5.2	添加显示模型输出的图表	88
5.3	添加口碑效应	93
5.4	考虑产品丢弃	96
第 6 章	系统动力学建模	98
6.1	创建一个存量和流量图	99
6.2	添加图表来显示动态过程	105

建模与仿真模型^①

建模是解决现实世界中各类问题的一种手段。很多情况下,如果通过实物实验找到正确的解决方案,其开销往往过于巨大:不论是构造实验、销毁实验还是在实验中进行任何的调整或改变都可能太过昂贵、危险或不切实际。因此,选择离开现实世界而进入如图 1-1 所示的模型世界,用建模的语言来构建现实世界中的模型。在这个过程中采取了抽象的方法,忽视那些看来不相关的细节,并保留重要的部分,从而使模型远比现实世界的系统更为简单。

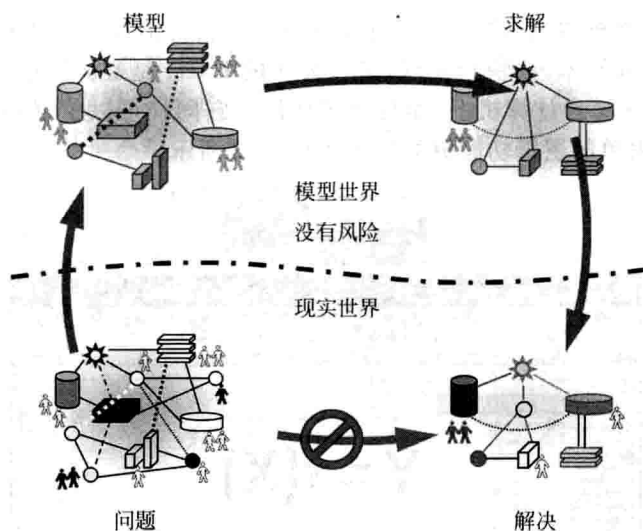


图 1-1 模型世界

说明:模型构建的三个阶段:将现实世界映射到模型世界、选择适合的抽象层级、选择适合的建模语言。考虑到实际问题的复杂性和多样性,这三个阶段的工作是科学,更是艺术。

在模型建好后、或在模型构建的过程中,将开始探索和理解原系统的结构和行为。为

^① 本章选自《AnyLogic 教材》(暂定名),Andrei Borshchev 博士正在撰写该书,部分章节可在 AnyLogic 网站阅读。

测试其在各类条件下的表现,将模型在各类场景之中运行,比较它们的性能并进行优化。当求得解决方法后,便可以将其运用于真实世界。

说明: 整个建模过程的本质,就是在一个零风险的,允许犯错、撤销、返回和重复的模型世界中,找到针对特定问题的解决方法。

1.1 模型的种类

模型的种类多种多样,每个人理解世间万物(朋友、家庭、同事、驾驶员、所在的城镇、购买的物品、经济、运动、政治、或是自己的身体等)所用到的一系列智力模型就是其中之一。人们每天做的决定,包括对孩子说什么、早餐吃什么,或是开车去哪里,都是基于人类的智力模型。

计算机对于建模至关重要,计算机提供了灵活的虚拟世界,让人们可以轻易地创造所想到的一切。当然,计算机模型多种多样,既有可以模拟开销的电子表单,也有可以探索消费者市场、战场等动态系统的仿真建模工具。

1.2 解析方法与仿真建模

如果去问一个大机构的战略规划、销售预测、物流、营销或规划管理团队,什么是他们青睐的建模工具和技术,很快会发现,微软公司的 Excel 是最流行的建模软件。Excel 的优势明显:它装在每台计算机上,而且易于使用。它同样可以扩展功能:可以将脚本添加到公式中,使表单的逻辑功能更加强大,如图 1-2 所示。



图 1-2 表单

1.2.1 解析模型(Excel 电子表格)

电子表格模型所用的技术很简单:在一系列的单元格中输入模型的值,然后就可以

在另外的单元格中查看输出值。输入值和输出值的连接主要通过公式实现,或在更复杂的模型中用脚本实现。在多种插件的支持下,电子表格模型能够实现模型参数的变化、蒙特卡罗仿真或优化实验。

基于公式的解析方法存在着局限性,即有很大一类问题的解并不存在或极难求得。这类问题主要包括动态系统问题,其特点如下:

- 行为的非线性;
- 记忆性;
- 变量间的非直观影响;
- 时间依赖性和因果依赖性;
- 以上特点加以不确定性和大量的参数。

在大多数情况下,不可能为这类系统找到正确的公式,更不可能建立适合这类系统的智力模型。例如,在铁路或卡车车队的优化问题中,行驶调度、装载和卸载时间、交付时间限制,以及终点容量等参数使得基于电子表单的建模方法难以实现,因为一辆汽车在特定地点、日期和时间下的可用与否取决于一系列先前事件,而判断当汽车空闲时将其送往何处又需要分析一系列未来事件。

说明:公式适合表达静态的变量间依赖关系,而不适合描述具有动态行为的系统。因此我们使用另一种建模技术——仿真建模,来分析动态系统。

仿真建模即可执行模型:可以运行并且构建系统状态变化的轨迹。仿真模型可以理解为一个描述了系统当前状态如何向下一状态转化的规则集合。这些规则可以表现为多种形式,包括差分方程、状态图、过程流程图以及调度方案。模型的输出可在模型运行时观测。仿真模型对其输入输出的解析过程如图 1-3 所示。



图 1-3 仿真模型的解析过程

1.2.2 仿真模型

仿真建模的过程通过采用仿真专用图文语言的专门软件工具实现。虽然这些工具的掌握需要一定的培训学习,但是会让学习者在创建高质量的动态系统分析模型时倍感受益。

一些自诩为 Excel 专家并有一些编程背景的人仍在试图建立动态系统的电子表格模型,他们试图获取更多的模型细节并在 Excel 中构建仿真器的功能,但最终的模型往往运行缓慢、难以管理,只得放弃。

事实上,任何这类的模型细节都是无法用解析方法获得的。即使有公式可以实现对细节的配置,一点小的过程改动就会使得配置前功尽弃,而恢复这一配置需要专业的数学人员进行大量工作。

1.2.3 仿真建模的优势

仿真建模主要有 6 大优势:

- (1) 仿真模型可以分析和求解系统,解析计算方法和线性规划方法无法做到。
- (2) 选择好抽象层级后,开发仿真模型比解析模型更容易,只需较少的知识就可以实现模型的可伸缩性、可扩展性和模块化。
- (3) 仿真模型的结构自然地反映了原系统的结构。仿真模型大都采用可视化语言,从而更容易实现模型内部和其他部分的通信。
- (4) 在仿真模型中,可以在抽象层级之上实现数值的测量和实体的追踪,并可以随时增加测量和统计分析功能。
- (5) 运行和实时显示系统行为动画的能力,是仿真的重要优势。动画不仅用于效果展示,还用于验证和调试过程。
- (6) 仿真模型比 Excel 电子表格更具说服力。有仿真来支持的观点比只有数字的更有优势。

1.3 仿真建模的应用及抽象层级

仿真建模已经在广泛而多样的应用领域中积累了众多的成功案例。随着新的建模方法和技术的涌现以及计算机性能的快速增长,仿真建模技术将应用到更广泛领域中。

仿真的应用

图 1-4 列出了按照对应模型抽象层级进行分类的仿真应用。

图中,底部是低抽象层级的物理层模型,用于代表现实世界中的、具有最大化细节的实体。在这一层,我们关心物理交互、维度、速度、距离和时间。例如,一辆汽车的刹车防抱死过程,足球迷从球场的撤离过程,交通灯控制下的路口交通,以及战场上士兵的交互等,这些都是需要低抽象层级模型的典型实例。

图中上部的高抽象层级模型是高度抽象的,其通常考虑顾客人数、雇员统计数据等汇聚性的事物,而不考虑单个个体。这种高抽象层级建模与交互有助于理解各类关系。例如,公司在广告上的花费是如何影响销量的,而无须模拟其中间步骤。

其他的模型处于中抽象层级,对医院急诊室的模拟所关心的是从急诊室到 X 光室的步行时间,但是医院中人与人的交互则与模型无关,因为预先假设了医院中没有发生拥

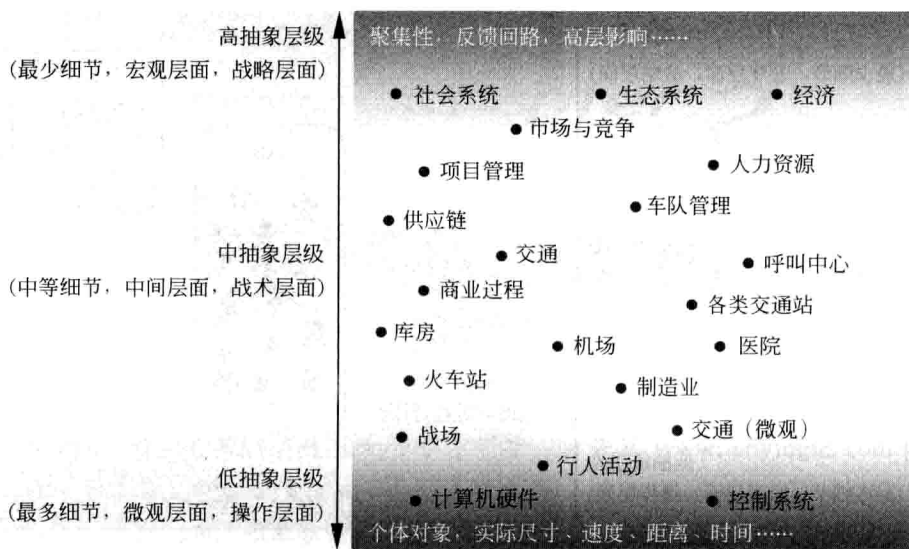


图 1-4 仿真建模抽象层级的划分

塞。在对商业过程和呼叫中心的建模中,需要模拟操作过程的顺序和持续时间,而不是操作过程在何处发生;在交通模型中,需要考虑卡车或列车的速度,但是在更高抽象层级的供应链模型中,只是简单假设一个需要七到十天到达的订单。

说明:选择合适的抽象层级对于建模的成功至关重要。如果事先决定好抽象层级,并明确该抽象层级所包含的部分与舍弃掉的部分,则选择对应的建模方法就不再困难。

在模型的开发过程中,须反复地考虑抽象层级。在大多数情况下,可以从高的抽象层级开始建模,并逐渐增加所需要的内容。

1.4 仿真建模的三大方法

现代仿真建模主要采用三大方法:离散事件建模(DE)、基于智能体建模(AB)和系统动力学建模(SD),如图 1-5 所示。

仿真建模方法

仿真建模方法,就是一个映射真实世界的常规模型框架。仿真建模方法给出了适用于仿真的建模语言和一系列术语和条件,目前为止,主要建模方法主要包括以下三种:

- 离散事件建模;
- 基于智能体建模;
- 系统动力学建模。

每一种建模方法都适用于特定的抽象层级范围。系统动力学建模适合较高的抽象层级,其在决策建模中已经得到了典型应用;离散事件建模支持中层和偏下层的抽象层级;基于智能体建模适合于中抽样层级的模型,既可以实现较低抽样层级的物理对象细

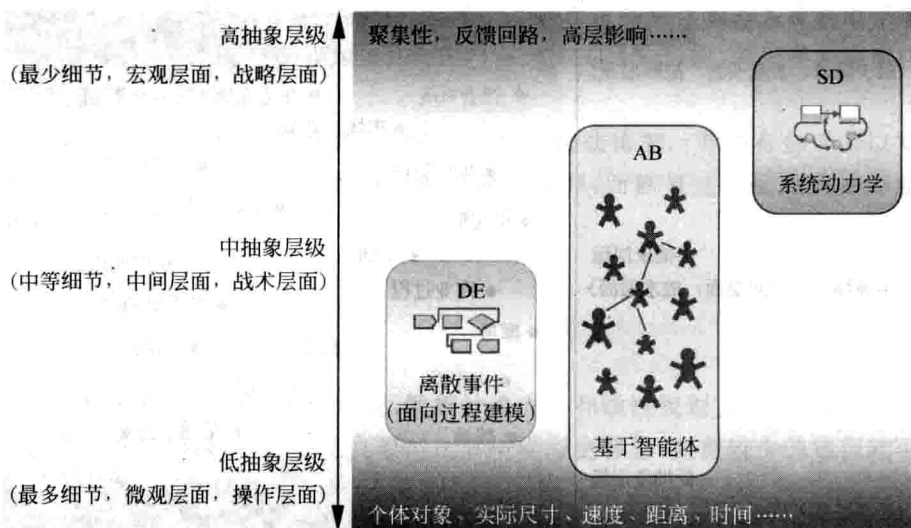


图 1-5 现代仿真建模的三大方法

节建模,也可以实现公司和政府等较高抽象层级的建模。

选择仿真建模方法要基于所需模拟的系统和建模的目标。以如图 1-6 所示的超市模型为例,不同的建模目标决定了建模的方法。既可以将顾客视为实体、将雇员视为资源,并利用过程流程图构建离散事件模型,也可以将顾客视为受广告、通信与交互作用影响的智能体,建立基于智能体的建模,或将销量视作受广告、服务质量、价格和顾客忠诚度影响的反馈变量,建立一个系统动力学的模型。

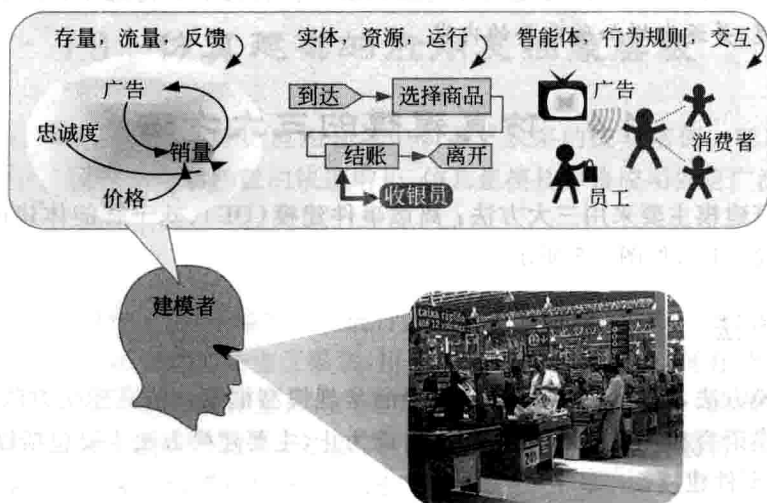


图 1-6 超市模型的构建

有时,系统的不同部分适合采用不同的建模方法,多方法建模将在此类情况中发挥重要作用。

安装并激活 AnyLogic

AnyLogic 6 专业版的安装过程十分简单便捷。首先从 www.anylogic.com 网站下载 AnyLogic 6, 并按照以下步骤进行安装。

(1) 运行 AnyLogic。如果软件尚未激活, AnyLogic 激活向导将会自动显示。

(2) 在激活 AnyLogic 页面, 选择“请求有限时间限制的评估密钥。密钥将通过电子邮件发送给你”单选按钮, 单击“下一步”按钮, 如图 2-1 所示。

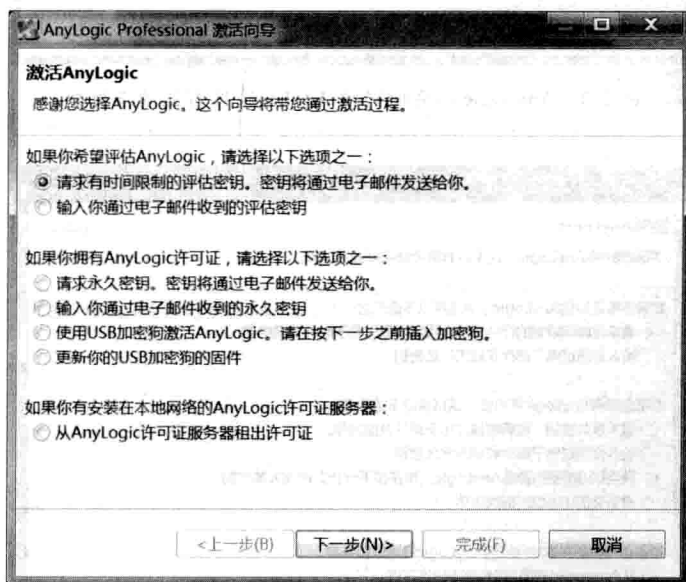


图 2-1 AnyLogic 激活向导中激活 AnyLogic 页面

(3) 进入“AnyLogic 许可证请求”页面, 输入个人信息, 并单击“下一步”按钮, 如图 2-2 所示。

将在提交申请后收到一封确认邮件, 并会再收到一封包含试用密钥的电子邮件。

(4) 在收到激活密钥后运行 AnyLogic 激活向导, 选择“输入你通过电子邮件收到的评估密钥”单选按钮, 单击“下一步”按钮, 如图 2-3 所示。

(5) 复制收到邮件中的激活密钥, 粘贴到“请在此粘贴密钥”文本框中, 单击“下一步”按钮, 如图 2-4 所示。



图 2-2 AnyLogic 激活向导中 AnyLogic 许可证请求页面

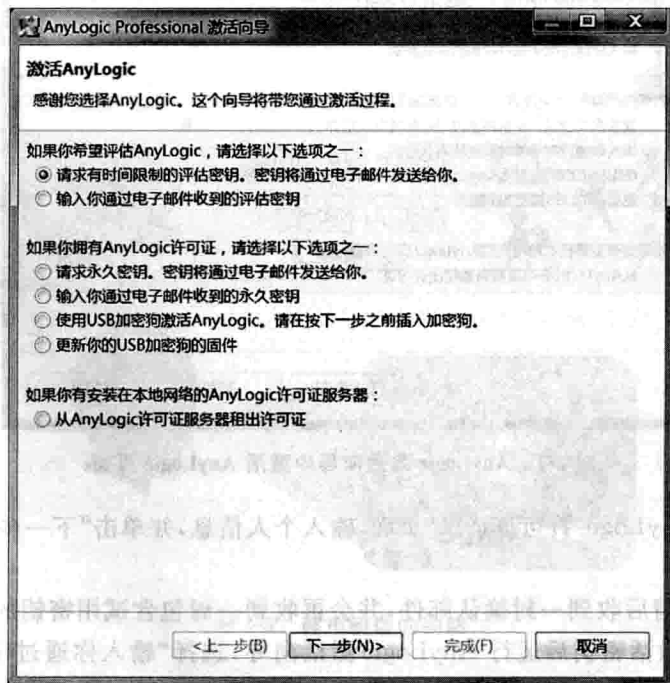


图 2-3 AnyLogic 激活向导中激活 AnyLogic 页面