

高等院校信息技术规划教材

AnyLogic 7 in Three Days

系统建模与仿真 ——使用AnyLogic 7

Ilya Grigoryev 著 韩鹏 李岩 赵强 译



清华大学出版社

高等院校信息技术规划教材

AnyLogic 7 in Three Days

系统建模与仿真 ——使用AnyLogic 7

Ilya Grigoryev 著

韩鹏 李岩 赵强 译

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是《AnyLogic 建模与仿真》的最新版本,针对 AnyLogic 7 的发布与新功能的增强,进行了诸多修订和补充。本书面向系统建模与仿真用户,介绍了建模与仿真基础理论、AnyLogic 安装与激活方法、基于智能体的建模方法、基于系统动力学的建模方法、基于离散事件的建模方法以及行人建模方法等内容,涵盖了使用 AnyLogic 常用系统模型的构建与应用。

本书可作为 AnyLogic 软件的入门学习用书,也可作为系统建模等课程以及大学建模竞赛的参考教材,还可作为广大科研人员、学者、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

系统建模与仿真:使用 AnyLogic 7/(俄)格里高利耶夫著;韩鹏等译. —北京:清华大学出版社,2017

(高等院校信息技术规划教材)

ISBN 978-7-302-45698-8

I. ①系… 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(2016)第 295173 号

责任编辑:袁勤勇 赵晓宁

封面设计:常雪影

责任校对:焦丽丽

责任印制:沈 露

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

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795764

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:10.75

字 数:252 千字

版 次:2017 年 1 月第 1 版

印 次:2017 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:29.00 元

产品编号:068652-01

译者序

随着世界范围内建模与仿真学科的发展,各个行业对仿真工作的需求日益增加,也对仿真工作者的技能与仿真软件的性能提出了更高的要求。在这一背景下,AnyLogic 软件以其多方法联合建模的突出特点,在世界范围内得到了广泛的应用。尤其是近几年多种新特性的引入,使得 AnyLogic 软件迭代速度明显提高,建模与仿真能力也显著增强,表现出蓬勃的生命力和应用前景。

在这一背景下,我们引进并翻译了经典 AnyLogic 快速入门教材 *AnyLogic 7 in Three Days*。本书基于新版的 AnyLogic 7 软件,细致地讲解了系统建模与仿真基础理论、AnyLogic 安装与激活方法、基于智能体的建模方法、基于系统动力学的建模方法、基于离散事件的建模方法以及行人建模方法等内容,完整引入了新版本 AnyLogic 7 的全新特性,涵盖了使用 AnyLogic 常用系统模型的构建与应用,使之适合建模与仿真初学者快速形成软件的使用思路和良好的操作习惯,并赋予科研工作者们更强大的模型与仿真系统开发能力。

本书的编译工作得到了原作者 Ilya Grigoryev、东北大学的宋昕、谭雷等诸多专家和同行的支持,在此一并感谢。鉴于译者水平有限,以及建模与仿真工具的快速发展,本书难免存在不足之处,恳请专家和广大读者批评指正。

本书的出版得到了以下基金项目的支持:

- 国家自然科学基金项目(61603083);
- 新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-12-0103);
- 辽宁省科学技术计划项目博士启动基金(201601029);
- 河北省高等学校科学技术研究项目(QN2016315);
- 东北大学基本科研业务项目(N152303010)。

译者

2016年6月

前言

foreword

这是第一本由 AnyLogic 开发人员撰写的实践性的 AnyLogic 7 教材。AnyLogic 是一个独特的仿真软件工具,支持系统动力学、离散事件和基于智能体建模三种仿真建模方法,使用户可以创造多种方法的模型。

在结构上围绕消费者市场模型、传染病模型、加工车间模型、机场模型 4 个内容展开。此外,本书也给出了一些用于不同建模方法的理论。

您可以将这本书视为学习 AnyLogic 7 的入门指南。读过这本书并且完成练习后,您将能够利用流程流图创造离散事件模型和行人模型,绘制库存和流量图,以及创建简单的基于智能体的模型。

关于本书

与上一版相比,本书将主要做如下改动:

- 所有案例都按照最新版软件 AnyLogic 7.1.2 进行了更新;
- 引入一个新的离散事件加工车间模型。

关于作者

Ilya Grigoryev 是 AnyLogic 公司——一所专注于仿真咨询与 AnyLogic 仿真软件开发的软件公司培训服务负责人。作为 AnyLogic 文档与培训课程的作者,Ilya Grigoryev 已经在美国、欧洲、非洲和亚洲多个国家或地区进行了众多公开培训。他曾在多个机构做过仿真咨询顾问,并在 AnyLogic 公司工作了十余年,熟悉几乎关于仿真与 AnyLogic 的一切。

致谢

感谢 Edward Engel 在本书撰写中的帮助以及 Anna Klimont 对本书中案例的截图。



感谢所有的 AnyLogic 小组负责人: Alexei Filippov、Vasiliy Baranov、George Meringov 和 Nikolay Churkov, 让我在 AnyLogic 开发小组中拥有一段快乐的时光。

感谢我的同事和好朋友: Tatiana Gomzina、Alena Beloshapko、Evgeniy Zakrevsky (AnyLogic 公司)、Vladimir Koltchanov (AnyLogic 欧洲)、Clemens Dempers (蓝马技术) 和 Derek Magilton (AnyLogic 北美), 给予我无限正能量。

此外, 还要感谢 Vitaliy Sapounov 的建议和支持, 感谢 Andrei Borshchev 对本书的巨大贡献, 感谢 Timofey Popkov 和 George Gonzalez-Rivas 对本书出版的想法。

请广大读者不吝赐教。

Ilya V. Grigoryev

grigoryev@anylogic.com

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
1.3 仿真建模的应用	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 基于智能体建模	10
3.1 市场模型	11
3.2 创建智能体群	12
3.3 定义消费者行为	24
3.4 添加图表显示模型输出	31
3.5 添加口碑效应	41
3.6 考虑产品丢弃	45
3.7 考虑交货期	47
3.8 模拟消费者失去耐心	50
3.9 比较不同参数值下的模型运行	58
第 4 章 系统动力学建模	64
4.1 SEIR 模型	64
4.2 创建一个存量和流量图	65
4.3 添加图表显示动态过程	72
4.4 参数变化实验	75
4.5 校准试验	81
第 5 章 AnyLogic 离散事件建模	85
5.1 加工车间模型	86

5.2 创建一个简单模型	86
5.3 添加资源	96
5.4 创建三维动画	100
5.5 模拟卡车运输托盘	107
5.6 模拟数控机床	116
第 6 章 行人建模	123
6.1 机场模型	123
6.2 定义简单行人流	124
6.3 绘制三维动画	130
6.4 添加安检站	133
6.5 添加值机设施	138
6.6 定义登机逻辑	143
6.7 从 Excel 表中设置航班	149
参考文献	164

建模与仿真模型

建模是解决现实世界中各类问题的一种手段。通常,通过实物实验找到正确的解决方案,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、出现危险或不切实际。因此,选择离开现实世界而进入如图 1-1 所示的模型世界,用建模语言构建模型来表示真实的系统。假设一个抽象的过程,保留那些重要的细节,忽视那些不重要的部分,则所建模型的复杂性比原系统大幅降低了。

模拟与真实世界的对比如图 1-1 所示。

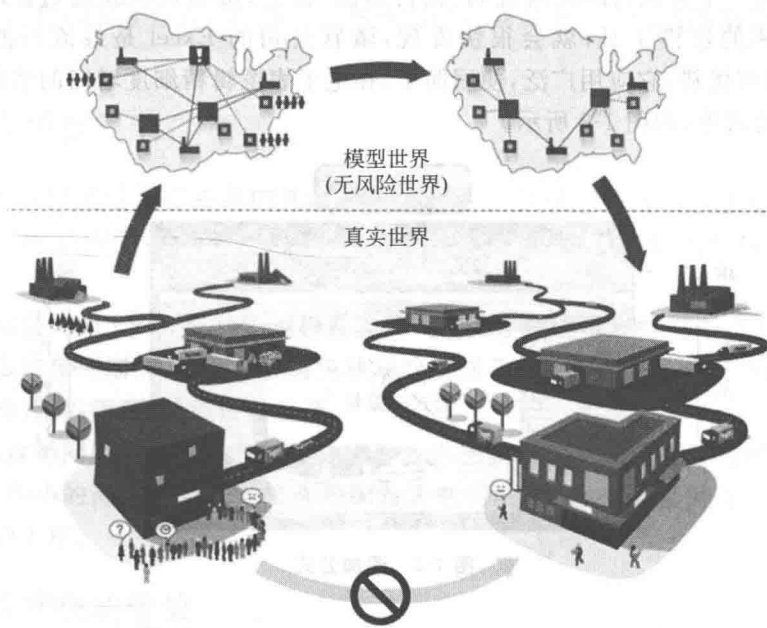


图 1-1 模型世界与真实世界的对比

说明:模型构建阶段将真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。这些不如通过模型来解决问题的过程显得正式,但它不仅是科学,更是艺术。

模型建好后或在模型构建的过程中,开始探索和理解系统的结构和行为。为测试其在各类条件下的表现,将模型在各类场景之中运行,对它们的性能进行比较和优化。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，包括用来理解现实世界中各事物如何运转的思维模型，如朋友、家庭、同事、驾驶员、居住的城镇、购买的物品、经济、运动和政治等。每天做的决定，包括对孩子说什么、早餐吃什么、选票投给谁，或是带女朋友去哪里共进晚餐，都是基于思维模型。

计算机是强大的建模工具，提供了灵活的虚拟世界，使用户可以创造所想到的一切。当然，计算机模型多种多样，既有可以模拟开销的电子表单，也有能够帮助经验丰富的用户探索如消费者市场、战场等动态系统的复杂的仿真建模工具。

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、市场营销或规划管理团队，什么是他们最青睐的建模工具，就会很快发现，微软公司的 Excel 是最流行的建模软件。Excel 具有诸多优势，它应用广泛，使用简单，在电子表逻辑精细度增高的情况下，支持将脚本添加到公式中，如图 1-2 所示。



图 1-2 添加公式

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，就可以在另外的单元格中查看输出值。在更复杂的模型中，使用公式或脚本实现输入值和输出值的连接。在多种插件方法的支持下，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，导致一大类问题的求解非常困难。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;
- 以上各项的不确定性和大量的参数。

在多数情况下,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思维模型。

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、交货时间限制以及容量等参数使得基于电子表格的建模方法难以实现。给定地点、日期和时间的汽车可用性依赖于一系列先前事件,而判断将空闲汽车送往何处又需要对一系列的未來事件进行分析。

说明:公式适合表达静态的变量间的依赖关系,而不适合描述具有动态行为的系统,因此使用仿真建模技术,来分析动态系统。

仿真模型通常是可执行模型,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是一个描述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、流程流图以及调度方案。模型的输出可在模型运行时观测。

1.2.2 仿真模型

仿真建模需要通过具有专用仿真语言的软件工具实现。虽然顺利地完仿建模需要经过一定的培训学习,但这会让用户在创建高质量的动态系统分析模型中备感受益。

了解微软公司的 Excel 或具有编程经验的人试图使用电子表格模拟动态系统。他们试图捕获更多的模型细节,从而不可避免地开始复制 Excel 模拟器的功能,但最终的模型往往运行缓慢,难以管理,只得很快放弃。

事实上,这类问题的模型细节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,一些小的流程改动就会使这些配置失效,而恢复这些配置需要专业的数学人员进行大量的工作。

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,而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。
- (4) 在仿真模型中,可以在抽象层级之间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是仿真的重要优势。动画在效果展示、验证和调试过程中非常实用。

(6) 仿真模型比 Excel 电子表格更具说服力。有仿真支持的观点比只有数字支持的观点更有优势。

1.3 仿真建模的应用

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建模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加广泛的领域中。

仿真的应用

图 1-3 列出了按照对应模型抽象层级进行分类的仿真应用。

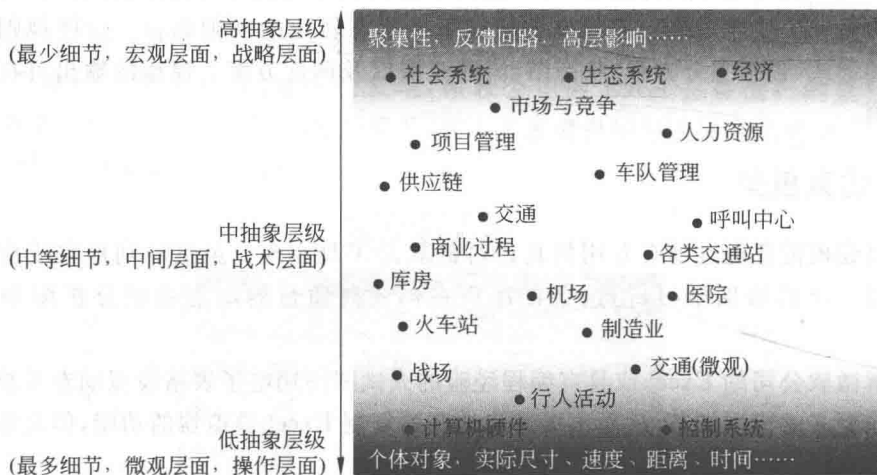


图 1-3 仿真建模抽象层级的划分

在图 1-3 中,底部是低抽象层级的物理层模型,用于表示现实世界中具有最大化细节的实体。在这一层,主要关心物理交互、维度、速度、距离和时间。例如,一辆汽车的刹车防抱死过程、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行为等,这些都是低抽象层级模型的典型实例。

在图 1-3 中,上部的高抽象层级模型是高度抽象的,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用户理解各类关系。例如,在研究公司广告上的花费是如何影响销量的问题中,无须模拟其中间步骤。

其他的模型处于中抽象层级。如果模拟医院急诊室,若想了解从急诊室到 X 光室的步行时间,所关心的是物理空间,但如果预先假设了医院中没有拥塞发生,则人与人之间

的物理交互不相关。

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,而不需要模拟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,只是简单假设需要一个7~10天到达的订单。

说明:选择合适的抽象层级对于成功建模至关重要。如果事先确定该抽象层级所包含的部分与舍弃的部分,建模是相当容易的。

在模型的开发过程中,偶尔重新考虑抽象层级是正常且合理的。在多数情况下,可以从高的抽象层级开始建模,逐渐增加所需要的细节。

1.4 仿真建模的三大方法

现代仿真建模主要采用离散事件建模(DE)、基于智能体建模(AB)和系统动力学建模(SD)三种方法,如图1-4所示。



图 1-4 现代仿真建模的方法

建模仿真方法

建模仿真方法,就是将现实世界系统映射到模型的框架。仿真建模方法给出了适用于仿真的建模语言和一系列的术语和条件,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。系统动力学建模适于较高的抽象层级,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中下层的抽象层级;基于智能体建模适于中抽样层级的模型,它既可以实现较低抽样层级的物理对象细节建模,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 1-5 所示的超市模型为例,建模者的问题将在很大程度上决定超市模型如何创建。可以构建一个流程图,将顾客视为实体,雇员视为资源,也可以将顾客视为受广告、通信与交互作用影响的智能体,创建基于智能体的建模,或将销量视为受广告、服务质量、价格和顾客忠诚度影响的反馈变量。

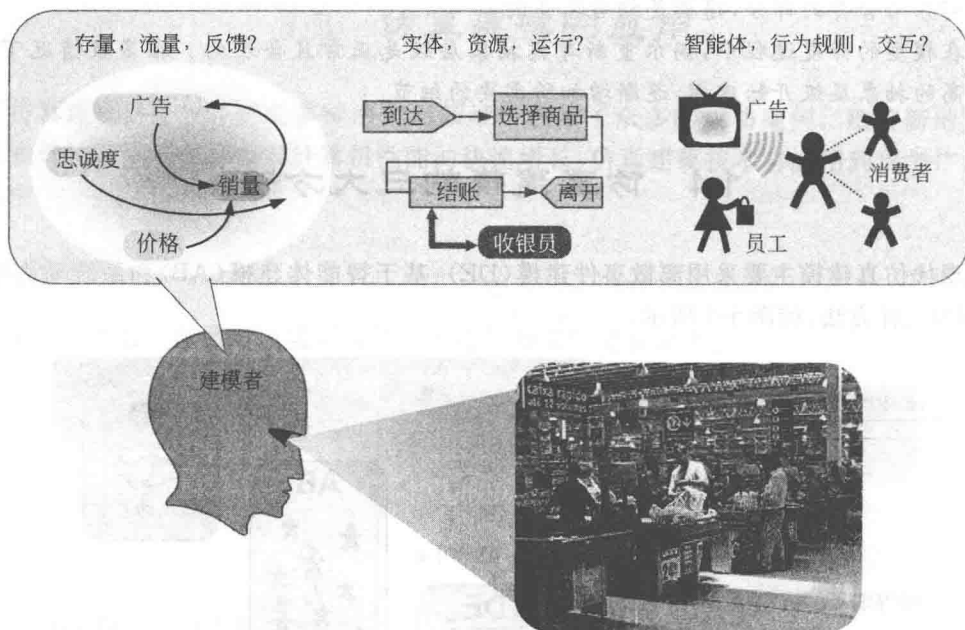


图 1-5 超市模型的构建

模拟一个系统不同部分的最佳方法是使用不同的建模方法,在这种情形下,多方法建模将发挥重要作用(Borshchev, 2013)。

第2章

chapter 2

安装并激活 AnyLogic

AnyLogic 7 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 7, 然后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“请求有时时间限制的评估密钥。密钥将通过电子邮件发送给您。”单选按钮, 单击“下一步”按钮, 如图 2-1 所示。

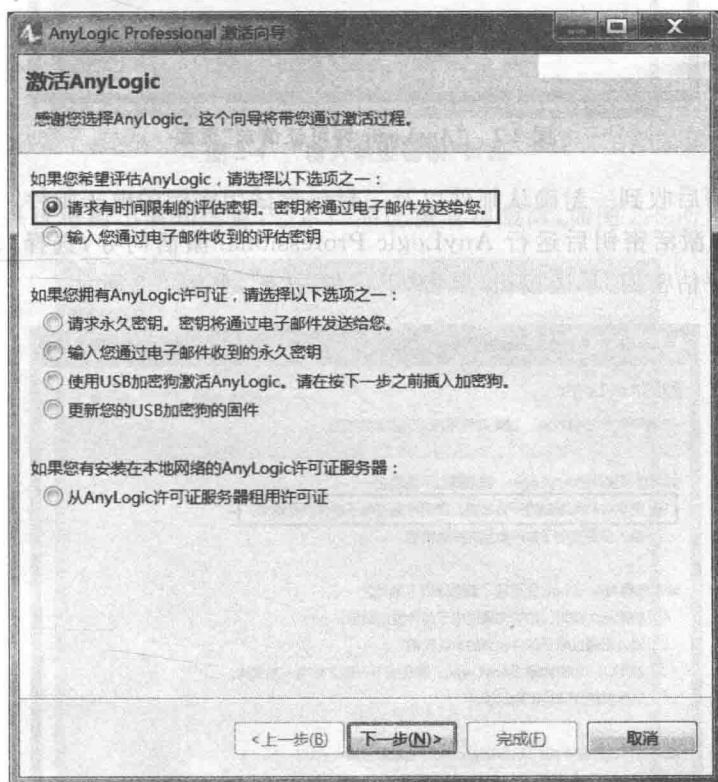


图 2-1 AnyLogic 激活向导中的“激活 AnyLogic”页面

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



AnyLogic Professional 激活向导

AnyLogic 许可证请求

请完成您的个人数据并提供有效的电子邮箱地址。您将通过电子邮件收到您的解锁密钥。

*名:

中间名:

*姓:

*公司:

部门:

网站:

*国家:

*电子邮箱: *电话:

*What problem are you solving with simulation?

*您是如何听说AnyLogic的?

您的许可证请求将发送到AnyLogic激活服务器。

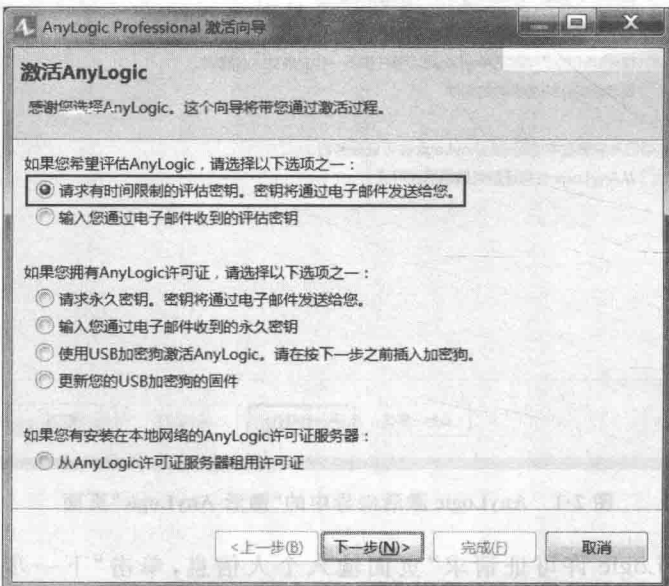
[代理设置.....](#)

< 上一步(B) 下一步(N) > 完成(F) 取消

图 2-2 “AnyLogic 许可证请求”页面

在提交申请后收到一封确认邮件以及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 Professional 激活向导, 选择“输入您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。



AnyLogic Professional 激活向导

激活AnyLogic

感谢您选择AnyLogic。这个向导将带您通过激活过程。

如果您希望评估AnyLogic, 请选择以下选项之一:

☒ 请求有时间限制的评估密钥。密钥将通过电子邮件发送给您。

☐ 输入您通过电子邮件收到的评估密钥

如果您拥有AnyLogic许可证, 请选择以下选项之一:

☐ 请求永久密钥。密钥将通过电子邮件发送给您。

☐ 输入您通过电子邮件收到的永久密钥

☐ 使用USB加密狗激活AnyLogic。请在按下一步之前插入加密狗。

☐ 更新您的USB加密狗的固件

如果您有安装在本地网络的AnyLogic许可证服务器:

☐ 从AnyLogic许可证服务器租用许可证

< 上一步(B) 下一步(N) > 完成(F) 取消

图 2-3 激活 AnyLogic 页面

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



图 2-4 “输入解锁密钥”页面

(6) 这时，系统将给出通知信息，显示产品已被成功激活，如图 2-5 所示。

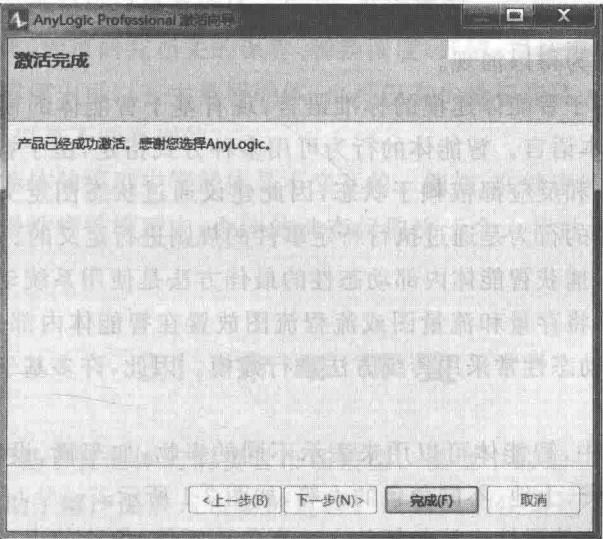


图 2-5 “激活完成”页面

(7) 单击“完成”按钮。现在，已经完成了 AnyLogic 的激活过程，可以开发第一个模型了。