

普通高等教育“十二五”规划教材

上海市本科教育高地建设项目



含光盘

面向应用的 仿真建模与分析

——使用 **ExtendSim** 第2版

Application Oriented Simulation
Modeling and Analysis
with ExtendSim

(Second Edition)

秦天保 王岩峰 编著

清华大学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

上海市本科教育高地建设项目

秦天保 王岩峰 编著

Qin Tianbao Wang Yanfeng



面向应用的 仿真建模与分析

——使用 ExtendSim

第2版

Application Oriented Simulation
Modeling and Analysis
With ExtendSim

(Second Edition)

清华大学出版社

北京

ExtendSim 是美国 Imagine That 公司开发的产品和注册的商标。本书中附带的 ExtendSim LT 软件, 模型中来自 ExtendSim 软件自带的模块、来自 ExtendSim 软件自带模块的照片及图片, 以及任何直接引用 ExtendSim 英文手册的文字版权属于 Imagine That 公司。Copyright © 1987-2008 Imagine That Inc. All rights reserved.

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

图书在版编目(CIP)数据

面向应用的仿真建模与分析: 使用 ExtendSim/秦天保, 王岩峰编著. --2 版. --北京: 清华大学出版社, 2011.5

ISBN 978-7-302-25322-8

I. ①面… II. ①秦… ②王… III. ①离散系统(自动化)—系统仿真 IV. ①TP391.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 061290 号

责任编辑: 张秋玲

责任校对: 刘玉霞

责任印制: 王秀菊

出版发行: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

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

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

(附光盘一张)

开 本: 185×260

印 张: 14.5

字 数: 347 千字

版 次: 2011 年 5 月第 2 版

印 次: 2011 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 1~4000

定 价: 29.00 元

产品编号: 042039-01

目前,在生产制造、物流、服务等诸多行业中应用系统仿真技术解决实际问题的需求越来越强烈,同时,随着现代基于可视化建模的仿真软件包的出现和普及,利用仿真方法辅助决策也越来越方便。在这种趋势下,市场上也出现了一些仿真建模与分析的书籍。这些仿真书籍大体可以分为两类:一类是重点介绍仿真基础理论的,此类书籍一般不介绍如何使用某一个现代仿真软件包进行实际建模,而是强调仿真原理与理论方面的内容,比较适合研究型仿真人才使用;另一类是以某一现代仿真软件包为依托,主要介绍如何应用该软件包进行仿真建模,而且重点放在结构建模方面,目标是培养能够快速应用仿真软件对实际问题进行建模的实用型仿真人才,但通常不对仿真的理论基础进行详细介绍,特别是对输入建模、输出分析论述较少。

本书结合上述两类书籍的特点,将系统仿真的基本理论与现代仿真软件包的应用相结合,通过应用介绍理论,通过理论加强应用,使读者能够在基本的仿真理论知识的武装下,利用现代仿真软件包进行实际仿真建模。

本书主要研究离散事件系统仿真,系统地介绍了离散事件系统仿真的理论基础,并通过 ExtendSim 这一先进的仿真软件介绍这些理论方法的实际应用。书中关注的应用领域主要包括物流、生产制造及服务行业,当然,对其他行业也有参考意义。本书相应章节配有习题和实验题,方便读者动手实验。

本书的组织基本上按照仿真项目研究的步骤展开。第 1 章介绍系统仿真的基本概念;第 2 章通过一个小案例介绍 ExtendSim 建模的基本操作以及排队系统的特征(排队模型是最基本的仿真模型);第 3 章介绍输入数据采集与分析(即输入建模),重点是概念模型和随机变量的分布拟合;第 4 章介绍如何用 ExtendSim 进行结构建模,按照模块类型分别介绍;第 5 章介绍模型校验与验证;第 6 章介绍仿真输出分析;第 7 章介绍仿真优化;第 8 章通过较大的案例详细介绍仿真在物流、生产制造、服务等行业的典型应用;第 9 章介绍 ExtendSim 中用于连续系统建模的离散速率建模方法;第 10 章对仿真应用中的一些问题进行了探讨。最后的附录 A 介绍了仿真需要用到的一些概率统计相关知识;附录 B 介绍了专为本书配套开发的“ExtendSim 全自助多媒体仿真实验平台”的内容。

上海海事大学秦天保副教授编写了第 1~7 章、8.1 节、8.4 节、第 9 章、附录 A、附录 B 以及所有习题和实验题,并进行了全书的统稿。王岩峰博士编写了第 10 章以及 8.2 节、8.3 节,并且制作了相应的模型,在随书光盘中,王岩峰博士还提供了其制作的 ExtendSim 培训 ppt 讲义以及大量培训案例。

本书的写作得到了上海市高等学校本科教育高地建设项目(海关物流)资助,还得到了上海市重点学科建设项目(S30601)资助。

本书附带光盘一张,包含如下内容:

(1) ExtendSim 7 学习版软件(已升级到 7.0.6.a 版),可以建立 75 个模块以内的模型(需要购买正式版的用户可以和秦天保联系);

(2) 书中例子所涉及的模型;

(3) 王岩峰博士的 ExtendSim 7 培训 ppt 讲义和相关模型;

(4) 教师教学建议和增补模型。

本书附有 ppt 讲义,可免费赠予教师上课使用。需要的教师可以与秦天保副教授联系(仅供教师)。

另外,我们还为本书开发了“ExtendSim 全自助多媒体仿真实验平台”软件,通过软件的有声多媒体指导,可以让学生自主完成相关仿真实验,生成实验报告,其详细功能介绍见附录 B。需要该平台软件的教师可以与秦天保副教授联系(该软件需要付费购买)。

秦天保副教授联系方式: qtbgo@163.com。

秦天保

2011 年 1 月 2 日

第 1 章 系统仿真基础	1
1.1 系统仿真的基本概念	1
1.1.1 系统与建模	1
1.1.2 模型分类	1
1.1.3 仿真及其分类	2
1.2 常用可视化仿真软件包	3
1.2.1 仿真使用的软件工具	3
1.2.2 常用可视化仿真软件包	3
1.3 仿真项目研究步骤	10
习题	10
第 2 章 ExtendSim 仿真入门	11
2.1 排队系统仿真	11
2.1.1 洗车模型概述	11
2.1.2 从简单开始——单队列单服务台模型	12
2.1.3 增加复杂性	15
2.1.4 典型性能指标	19
2.1.5 洗车模型的增强——更多建模技巧	22
2.1.6 给初学者的建模建议	25
2.1.7 进一步探索	25
2.1.8 排队系统的特征与符号表示	26
2.2 离散事件系统仿真模型组成	28
2.2.1 实体及其属性	28
2.2.2 资源	28
2.2.3 队列	29
2.2.4 活动	29
2.2.5 控制	29
2.2.6 全局数据存储	29
2.2.7 系统变量	29
2.2.8 事件	30
2.2.9 仿真时钟	31
2.3 ExtendSim 基本操作	31
2.3.1 仿真全局参数设置	31

2.3.2	克隆、记事本、文本输入、图层	34
2.3.3	模型层级	35
2.3.4	命名连接与模型外观	37
2.3.5	如何理解 ExtendSim 模型的逻辑	37
习题		38
实验		38
第3章	输入数据采集与分析	41
3.1	分布拟合的过程	41
3.1.1	收集原始数据	42
3.1.2	进行数据检验	44
3.1.3	辨识分布类型	46
3.1.4	进行参数估计	48
3.1.5	进行拟合优度检验	48
3.2	经验分布	49
3.3	使用 Stat::Fit 软件进行分布拟合	49
3.3.1	理论分布拟合——连续随机变量	49
3.3.2	理论分布拟合——离散随机变量	54
3.3.3	经验分布拟合——连续随机变量	56
3.3.4	经验分布拟合——离散随机变量	57
3.4	多变量与相关输入数据	57
习题		58
实验		58
第4章	结构建模	59
4.1	ExtendSim 模块概览	59
4.2	实体生成与实体特性	60
4.2.1	常用模块	60
4.2.2	实体特性	61
4.2.3	批到达建模	64
4.2.4	非平稳泊松到达过程建模	65
4.3	队列: 排队规则与排队行为	65
4.3.1	队列模块	66
4.3.2	排队规则	66
4.3.3	排队行为	67
4.3.4	Queue Equation 模块详解——复杂排序	69
4.3.5	Queue Matching 模块详解——实体匹配	72
4.3.6	Queue Tools 模块详解——查看和初始化队列	73
4.4	路由(路径选择)	74
4.4.1	常用模块	74
4.4.2	来自不同源的实体路由建模	75

4.4.3	发往多个目的地的路由建模	78
4.5	使用活动模块执行处理	83
4.5.1	常用模块	83
4.5.2	串行处理与并行处理	84
4.5.3	设置延迟(处理)时间	85
4.5.4	活动调度建模	87
4.5.5	活动中断处理	90
4.5.6	运输与物料搬运	97
4.6	合并与拆分	99
4.6.1	合并	99
4.6.2	拆分	104
4.7	资源与工班	106
4.7.1	常用模块	106
4.7.2	如何建模资源	107
4.7.3	资源调度	111
4.8	数据存储与管理	115
4.8.1	内部数据库方法	115
4.8.2	全局数组法	117
4.9	基于方程的模块与编程语法	117
4.9.1	输入变量	118
4.9.2	输出变量	118
4.9.3	方程	119
4.10	绘图模块(Plotter)的使用	121
4.10.1	曲线图和数据面板	122
4.10.2	Plotter 模块工具	122
	实验	124
第 5 章	模型校核与验证	126
5.1	模型校核	126
5.2	模型验证	126
5.3	ExtendSim 调试工具和技术	127
第 6 章	仿真输出分析	132
6.1	概述	132
6.1.1	什么是仿真输出分析	132
6.1.2	如何估计输出变量的均值及其置信区间	132
6.1.3	终止型仿真和非终止型仿真	133
6.2	终止型仿真输出分析	134
6.2.1	确定初始状态	134
6.2.2	确定仿真运行的终止事件	134
6.2.3	确定仿真重复运行次数	135

6.3	非终止型仿真输出分析	136
6.4	输出变量方差与比例的估计	139
6.5	方案比较	139
6.5.1	概述	139
6.5.2	双系统方案比较	140
6.6	ExtendSim 中性能统计方法	142
6.6.1	Statistics 模块与简单统计	142
6.6.2	全能的 Mean & Variance 模块与高级统计	143
6.6.3	预热期的设置	146
6.6.4	利用数据库记录统计数据	146
	习题	146
	实验	147
第 7 章	仿真优化	151
7.1	仿真优化概述	151
7.2	仿真优化的步骤	151
7.3	仿真优化案例	151
第 8 章	典型应用	155
8.1	库存系统仿真	155
8.1.1	库存系统概述	155
8.1.2	(s,S)库存系统仿真	156
8.2	制造行业仿真应用	160
8.2.1	问题描述	160
8.2.2	创建模型前	161
8.2.3	建立模型的第一部分	162
8.2.4	运行模型	163
8.2.5	增加 2 个操作和 2 个缓冲器	163
8.2.6	增加 1 个缓冲器和非标准插入站	164
8.2.7	完成模型	166
8.2.8	运行“现状”系统的模型	167
8.2.9	增加新产品	167
8.2.10	增加另一个自动插件机	168
8.2.11	结果分析	169
8.2.12	增加动画	169
8.2.13	对结果有把握吗	170
8.2.14	最终分析	170
8.3	服务行业应用	171
8.4	集装箱码头装卸仿真	174
8.4.1	集装箱码头物流系统工艺方案与运作流程	174
8.4.2	集装箱码头物流系统仿真建模	175

实验	181
第 9 章 离散速率仿真建模	183
9.1 离散速率建模与连续建模和离散事件建模的比较	183
9.2 离散速率建模基础	183
第 10 章 仿真应用的进一步思考	194
10.1 关于系统仿真本质的思考	194
10.2 形似和神似	195
10.3 系统仿真应用中的几个疑问	198
10.3.1 系统仿真是影像制作吗	198
10.3.2 系统仿真模型要和现实系统一一对应吗	198
10.3.3 系统仿真项目如何起步	198
附录 A 仿真用概率统计基础	201
A.1 概率论基本概念	201
A.1.1 随机变量	201
A.1.2 离散型随机变量的分布	201
A.1.3 连续型随机变量的分布	201
A.1.4 累积分布函数	202
A.1.5 数学期望与方差	202
A.2 常用分布及其典型用途	202
A.2.1 常用连续分布	202
A.2.2 常用离散分布	207
A.3 抽样与统计推断	208
A.3.1 总体与样本	208
A.3.2 参数估计	209
A.4 假设检验	212
附录 B ExtendSim 全自助多媒体仿真实验平台	213
B.1 “ExtendSim 全自助多媒体仿真实验平台”体系结构	213
B.1.1 总体结构	213
B.1.2 实验指导	214
B.1.3 交互式视频操作步骤演示与讲解	214
B.1.4 动手练习和创建实验报告	216
B.2 实验项目设置与知识点	216
参考文献	219

第 4 章 系统仿真基础

1.1 系统仿真的基本概念

1.1.1 系统与建模

在现实生活中,人们往往要对一些系统加以研究,如工厂系统、物流系统、服务系统等,以评估或改进系统的性能。这里的系统是指为了完成某一目标而由一些相互作用的元素组成的整体。例如,一个制造工厂系统含有机器、人员、运输设备、传送带以及存储空间等元素,这些元素相互作用,最终目的是产出产品;一个银行服务系统含有各种不同的顾客、银行员工以及各种服务设施,如柜员窗口、自动取款机(ATM)、贷款服务台、顾客保险箱等元素,目的是为顾客提供服务。

对某些系统,可以直接对实际系统加以实验研究。例如,某些城市在公路交叉口安装交通信号灯,通过对不同的信号配时进行实际实验研究,以找到一种理想的设置方式,使交叉口通行量最大。如果可以直接对系统某些方面加以实验研究,则无疑可以得到最符合实际的结果。

但是在许多情况下,直接对实际系统本身加以实验研究是十分困难、昂贵或完全不可能的。例如,在计划建立一个集装箱码头时,无法对其设施布局方案加以实际实验。即使在已有的码头中,把设施布局变成要进行实验研究的布局方案(可能根本就无法实现)也将会非常昂贵。一家银行若要考察关闭附近一个分行会带来什么影响的话,也不可能真的去关闭它,因为再次恢复营业恐怕就不大可能重新吸引到原来那么多的顾客了。

在以上场合中,只能建立一个实际系统的模型(model)作为替代品来研究有关的系统,利用模型进行实验研究相关问题:如果这样做或那样做,系统会发生什么?如果出现某些无法控制的情况,系统又会怎么样?在这种情况下,不会出现人身伤害,而且可以对模型在很大范围内随意探索各种可能性,从而找出一些在真实系统中可能根本无法去尝试的方案。

1.1.2 模型分类

模型是系统各元素交互关系的简化表示,这些关系包括因果关系、流程关系以及空间关

系等。模型可以分为物理模型、逻辑模型，如图 1-1 所示。

物理模型是实际系统的物理复制品或按比例缩放的实物模型，也称实体模型。例如，有人在仓库中建立了一个同比率的快餐店实物模型，用于对各种服务程序进行实验研究。事实上，多数大型快餐连锁企业如今都在其公司办公楼内建有同比率快餐店，用于对新的产品和服务加以实验研究。人们还建立了物料搬运系统的实物模型，实际上就是各种设施的微缩版，可用于研究设施布局、车辆路径以及运输装置等各种不同方案对系统性能的影响。尽管物理模型在许多领域都有重要应用，但这不是本书的讨论主题，因此不多做介绍。

逻辑模型是指以图符或数学方程式等表达的反映现实系统要素间逻辑关系的模型。逻辑模型可以进一步分为符号模型、解析模型和仿真模型。

符号模型是利用一些图形符号如矩形、箭头等来描述一系列活动或要素间的相互关系的模型。常见的符号模型有流程图、设施布置图等。符号模型的优点是容易制作，易于理解；缺点是无法利用它们对系统性能进行量化分析，也无法把握系统动态行为。

解析模型(又称分析性模型)是一种利用数学方程式(含不等式)表达系统要素间关系的模型。它可以是简单的方程式，也可以是复杂的数学规划模型(由一个目标函数和一组约束方程组成)。解析模型的优点是形式规范，通常能够求得确定的最优解；但它也有缺点，如解析模型通常只能解决静态的、规范性的、确定性的或简单几率性的问题，难以解决复杂动态随机系统问题。

仿真模型指利用计算机建立的模拟真实系统运行的模型。仿真模型可以模拟和研究复杂动态随机系统。通过仿真模型进行实验通常比用实际系统进行实验成本低得多。

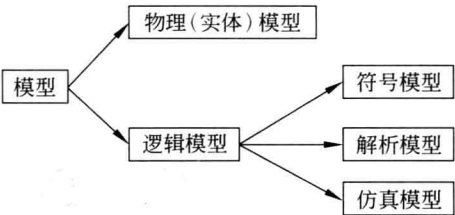


图 1-1 模型分类

1.1.3 仿真及其分类

仿真(计算机仿真、系统仿真)就是建立计算机仿真模型模拟现实的动态系统，在仿真模型上进行各种实验，以评估和改善系统性能。仿真可以根据所模拟的系统特性分为以下 3 种：

(1) 连续系统仿真。它所模拟的系统的状态变量随时间连续变化，也称为连续仿真。例如，温控系统仿真中的温度是连续变化的。

(2) 离散事件系统仿真。它所模拟的系统的状态变量随一个个事件的发生而在特定的时间点离散变化，系统的状态变化是由(往往是随机发生的)事件驱动的，也称为离散事件仿真或离散系统仿真。例如，排队系统中队列长度是随顾客到达、顾客离开等事件离散变化的。

(3) 混合系统仿真。它所模拟的系统既有连续的部分，也有离散的部分。

由于许多服务系统、物流系统、生产制造系统都是离散系统，所以本书主要研究离散事件系统仿真。

1.2 常用可视化仿真软件包

1.2.1 仿真使用的软件工具

可以采用多种软件工具建立仿真模型,这些工具总结如下:

- (1) 通用语言,如 VB,C,C++,Fortran 等;
- (2) 通用仿真语言,如 GPSS,SIMSCRIPT,SLAM,SIMAN 等;
- (3) 电子表格及其插件,如 Excel,@Risk(Excel 插件),Crystal Ball (Excel 插件)等;
- (4) 可视化仿真软件包,如 ExtendSim,Arena,Promodel,Witness,Anylogic,Flexsim,Automod,eM-Plant 等。

最初,人们使用 C, Fortran 等通用语言开发仿真模型,工作量极大,而且非常繁琐。之后,出现了专用的仿真语言,采用这种语言开发仿真模型大大降低了开发难度和工作量,但是仍然比较繁琐。而随着电子表格软件统计功能的发展,电子表格成为很好的仿真平台,可以利用它及其插件较为方便地开发一些仿真模型。

使仿真得到广泛应用和普及的应该是可视化仿真软件包的出现,利用这些软件包,可以非常方便地利用图标以可视化方式构件仿真模型,大大提高了建模效率,降低了建模难度。本书使用的 ExtendSim(原来的 Extend)就是一款优秀的可视化仿真软件包。

1.2.2 常用可视化仿真软件包

现代可视化仿真软件包通常具有图形化用户界面、动画等支持,还提供了输入数据分析器、结果输出分析器等模块,以便简化建模过程,为用户提供高效的数据处理功能,使用户将主要精力集中于系统模型的构建中。

近年来,仿真软件开始由二维动画向三维动画转变,提供虚拟现实的仿真建模与运行环境。此外,智能化建模技术、基于 Web 的仿真、智能化结果分析与优化技术也成为仿真软件的重要趋势。为支持用户对特定类型系统或产品的仿真分析,仿真软件还应该提供二次开发工具及开放性程序接口,以增强软件的适应性。

目前,市场上已有大量的商品化的可视化仿真软件包,它们面向制造系统、物流系统、服务系统等领域,成为提高系统性能、提升企业竞争力的有效工具。下面简要介绍几种常用仿真软件。

1. Arena

Arena 于 1993 年进入市场,现为美国 Rockwell Software 公司的产品。Arena 软件基于 SIMAN/CINEMA 仿真语言,提供可视化、通用性和交互式的集成仿真环境,兼具仿真程序语言的柔性和仿真软件的易用性,并可以与通用编程语言(如 Visual Basic, Fortran 和 C/C++ 等)编写的程序连接运行。

Arena 提供内嵌的 Visual Basic 编程环境 Visual Basic for Application(VBA),用户只

要单击相应的工具按钮就可以进入完整的 Visual Basic 编程环境,利用 Visual Basic Editor 编写 VB 代码,灵活定制用户的个性化仿真环境。图 1-2 所示为 Arena 仿真软件的界面。

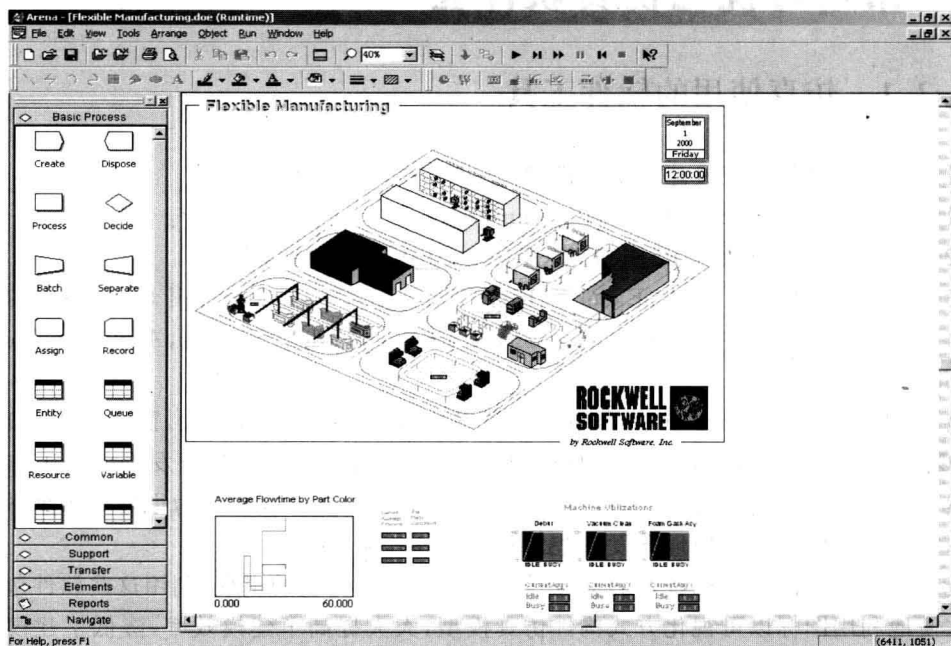


图 1-2 Arena 仿真软件的界面

Arena 在制造系统中的应用主要包括制造系统的工艺计划、设备布置、工件加工轨迹的可视化仿真与寻优、生产计划、库存管理、生产控制、产品销售预测和分析、制造系统的经济性和风险评价、制造系统改进、企业投资决策、供应链管理、企业流程再造等。

此外, Arena 还可应用于社会和服务系统的仿真。例如, 医院医疗设备/医护人员的配备方案、兵力部署、军事后勤系统、社会紧急救援系统、高速公路的交通控制、出租车管理和路线控制、港口运输计划、车辆调度、计算机系统的数据传输、飞机航线分析、电话报警系统规划等。

2. AutoMod

AutoMod 是 Brooks Automation 公司(该公司现已被 Applied Materials 公司收购)的产品。它由仿真模块 AutoMod、试验及分析模块 AutoStat、三维动画模块 AutoView 等部分组成, 适合于大规模复杂系统的计划、决策及其控制试验。AutoMod 的主要特点包括以下几方面:

(1) 采用内置的模板技术, 提供物流及制造系统中常见的建模元素, 如运载工具(vehicle)、传送带(conveyor)、自动化存取系统(automated storage and retrieval system, AS/RS)、桥式起重机(bridge crane)、仓库(warehouse)、堆垛机(lift truck)、自动引导小车(automated guided vehicle, AGV)、货车(truck)、小汽车(car)等, 可以快速构建物流及自动化制造系统的仿真模型。

(2) 模板中的元素具有参数化属性。例如, 传送带模板具有段数(sections)、货物导入

点(station for load induction)、电动机(motor)等属性,其中段数由长度、宽度、速度、加速度以及类型等参数加以定义。

(3) AutoStat 模块具有强大的统计分析工具,由用户定义测量和试验标准,并自动对 AutoMod 模型进行统计分析,得到车辆速度、生成产量、成本、设备利用率等数据及其图表。

(4) AutoView 允许用户通过 AutoMod 模型定义场景和摄像机的移动,产生高质量的 AVI 格式的动画。用户可以缩放或者平移视图,或利用摄像机跟踪一个物体(如叉车或托盘)的移动等。AutoView 为动态场景的描述提供了灵活的显示方式。

使用时,首先要建立系统中的对象,通过编程定义作业流程,通过编译源程序运行模型。由于需要采用程序语言对所有对象进行编程,建模人员必须具备必要的编程知识。根据仿真结果,可以判定是否存在瓶颈工位、流程是否合理、设备能力能否满足需求等,并调整方案或者参数,直至得到满足实际需求的方案。图 1-3 所示为 AutoMod 仿真软件的界面。AutoMod 软件的主要应用对象是制造系统以及物料处理系统等。

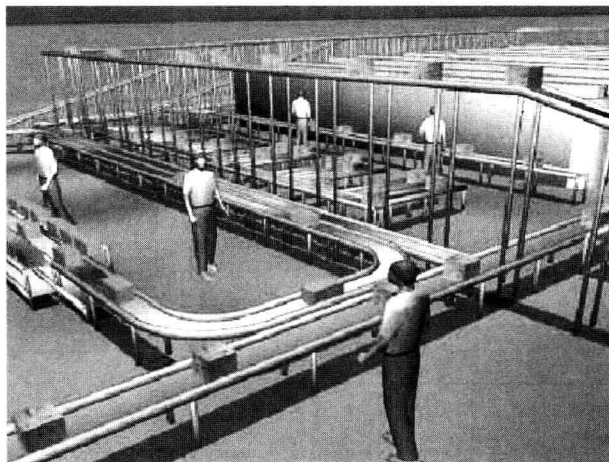


图 1-3 AutoMod 仿真软件的界面

3. ExtendSim

ExtendSim 仿真软件 1988 年进入市场,由美国 Imagine That 公司开发,在版本 7 之前,称为 Extend,从版本 7 开始,改名为 ExtendSim。它采用 C 语言开发,可以对离散事件系统和连续系统进行仿真,且具有较高的灵活性和可扩展性。ExtendSim 采用交互式建模方式,且支持三维动画,利用可视化工具和可重用的模块能快速构建系统模型。ExtendSim 仿真软件的主要特点如下:

(1) ExtendSim 采用拖拉式建模和“克隆”技术,所有模块都可以重复使用,模块内的任何参数都可以复制和拖拉到仿真模型的任何区域,从而使建模过程得以简化。

(2) ExtendSim 提供开放源代码和二次开发引擎,充分利用 Windows 操作系统的资源,可以与 Delphi, C++ Builder, Visual Basic, Visual C++ 等程序语言代码链接,还可以与主流数据库、Excel 等数据源集成。

(3) ExtendSim 采用开放式体系结构,利用自带的编程工具,用户可以修改已经存在的

模块,也可以创建新的模块,使系统具有良好的可扩展性。

(4) ExtendSim 采用多层次模型结构,模型条理清晰、逻辑分明,使复杂系统模型得以简化。

(5) ExtendSim 采用模块化结构,与第三方公司共同开发模块库。模块库涵盖离散事件系统和连续系统,用户也可以自定义模块,所有预制和自定义模块均可重复使用。模块之间采用基于消息的传递机制,提供多种复杂数据传递方式。模块化有利于提高建模效率。

(6) ExtendSim 具有良好的统计功能和图形输出功能,采用拖拉等方式可以快速建立和显示各种图表。ExtendSim 提供了多种图表形式,可以与多种统计拟和器相结合(如 Best Fit, Expert Fit, Stat Fit 等)快速建立拟合曲线。

(7) 新版本软件采用三维建模和动画技术,增强了软件的可视化效果。图 1-4 所示为 ExtendSim 的一个仿真模型界面。

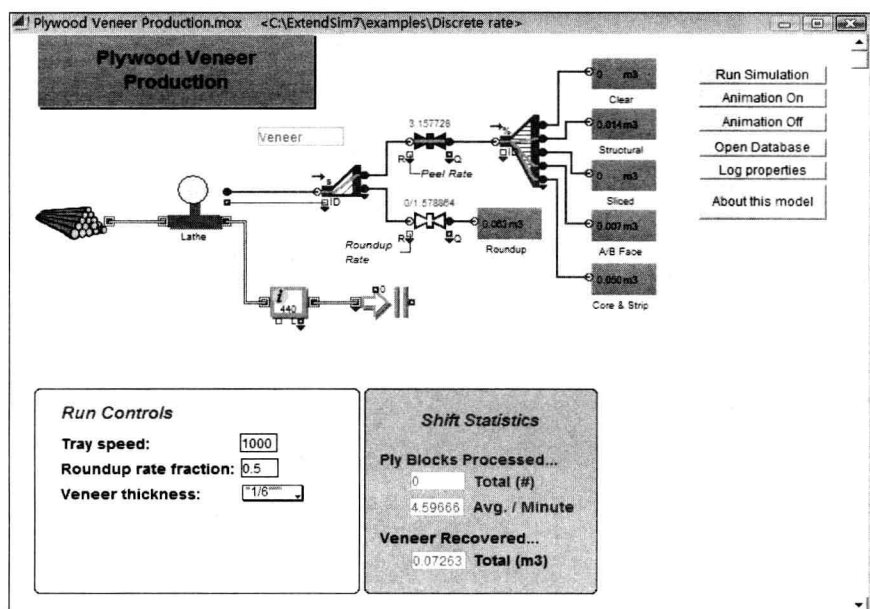


图 1-4 ExtendSim 的仿真模型界面

(8) ExtendSim 不仅能够对实体流动进行可视化建模,而且对数据流动和控制结构也可以可视化建模而无须编写程序,这使得 ExtendSim 非常容易学习,对初学者的编程能力要求不高。

ExtendSim 软件的应用涉及制造业、物流业、银行、金融、交通、军事等领域,具体应用包括半导体生产系统调度、钢铁企业物流系统规划、供应链管理、港口运输、车辆调度、生产系统性能优化、银行系统流程管理、医疗流程规划、呼叫中心规划等。通过对系统性能指标(如制造周期、采购周期、配送周期、客服周期、设备利用率、员工利用率、库存水平等)的仿真分析,可以直观地评价和改进影响系统性能的因素,以实现系统最佳的配置、运行模式或经营策略等。

4. Flexsim

Flexsim 是美国 Flexsim 公司的产品,1993 年投放市场。它采用 C++ 语言开发,采用面向对象编程和 Open GL 技术,可以直接以三维方式提供虚拟现实的建模环境。它提供三维图形化建模环境,并集成了 C++ 集成开发环境和编译器。

Flexsim 利用对象建立仿真模型。Flexsim 提供了众多的对象类型,如操作员、传送带、叉车、仓库、信号灯、储罐、货架、集装箱等,通过设置对象参数,可以快速高效地构建制造系统、物料系统等系统模型。

在 Flexsim 软件中,用户可以利用 C++ 语言创建、定制和修改对象,控制对象的行为活动,并存入库中,以便在其他模型中使用。Flexsim 中的对象具有开放性,可以在不同用户、库和模型之间进行交换。对象的高度自定义性不仅提高了建模速度、节省了建模时间,也使仿真模型具有层次性。图 1-5 所示为 Flexsim 仿真软件的界面。

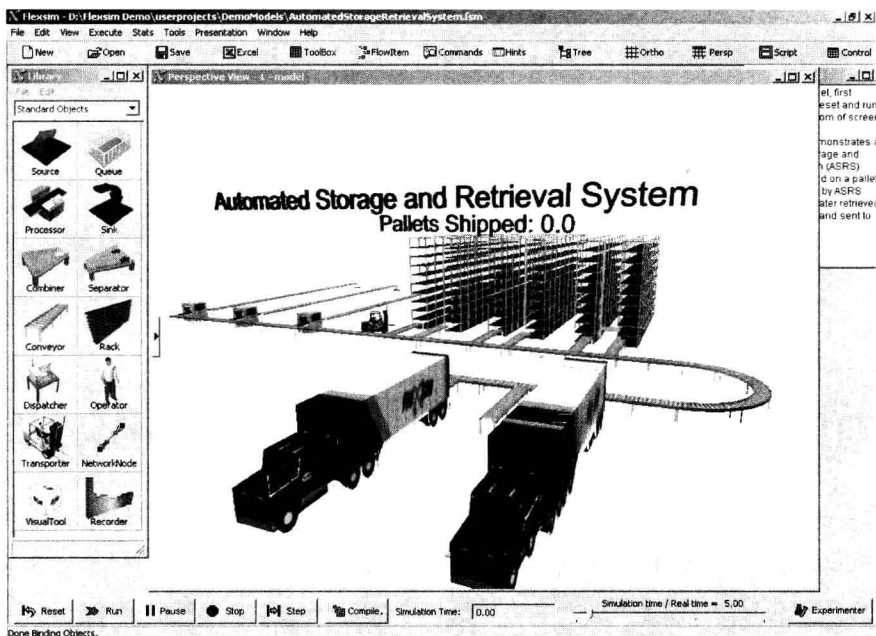


图 1-5 Flexsim 仿真软件的界面

利用虚拟现实技术, Flexsim 可以直接导入 3D Studio, VRML, DXF 以及 STL 等 3D 图形。Flexsim 还内置虚拟现实的浏览窗口, 让用户添加光源、雾以及虚拟现实立体技术。

利用 Flexsim 软件可以快速构建系统模型, 通过对系统动态运行过程的仿真、试验和优化, 可以提高生产效率、降低运营成本。Flexsim 软件可用于评估系统生产能力及生产流程、优化资源配置、确定合理的库存水平、缩短产品上市时间等。

5. ProModel

ProModel 是由美国 ProModel 公司开发的离散事件系统仿真软件, 它可以构造多种生产、物流和服务系统模型, 是美国和欧洲使用最广泛的生产系统仿真软件之一。