

计算机实用软件工具系列丛书

学苑出版社

鲍居武 编  
刘青云

# 新型多用途的计算机

## 仿真语言 SLAM



希望

计算机实用软件工具系列丛书

# 新型多用途的计算机 仿真语言 SLAM

鲍居武 刘青云 编著

张鸿端 曹 军 审校

学苑出版社

(京)新登字 151 号

### 内 容 提 要

计算机仿真作为一种求解复杂问题的有效方法,在工程应用和科研实践中得到了非常广泛的应用。SLAM 是一种新型、高效的多用途仿真语言。它将面向过程的随机网络、离散事件和连续系统三种类型的仿真机制综合起来,形成一种具有多种构模功能的仿真语言。它具有通用编程语言(如 FORTRAN 或 C 语言)和其它仿真语言所不具备的建模效率、编程效率和运行效率。本书不仅对 SLAM 语言进行了全面的介绍,同时对仿真方法学的背景知识、基础知识、仿真语言以及仿真应用进行了综合阐述。因此,本书是一本完整的仿真方法学。本书内容丰富,资料新颖,是引导读者学习仿真技术和使用 SLAM 语言不可多得的重要参考书。

欲购本书的用户,请直接与北京 8721 信箱联系,电话 2582329,邮码 100080。

计算机实用软件工具系列丛书

### 新型多用途的计算机仿真语言 SLAM

---

编 著:鲍居武 刘青云  
审 校:张鸿端 曹 军  
责任编辑:甄国宪  
出版发行:学苑出版社 邮政编码:100032  
社 址:北京市西城区成方街 33 号  
印 刷:施园印刷厂  
开 本:787×1092 1/16  
印 张:25.875 字数:596 千字  
印 数:1~3000 册  
版 次:1993 年 12 月北京第 1 版第 1 次  
ISBN7-5077-0757-1/TP·6  
本册定价:30.00 元

---

学苑版图书印、装错误可随时退换

## 前 言

计算机仿真技术作为一种求解复杂问题的有效方法越来越得到了广泛的应用。随着仿真技术的发展，广大用户迫切需要一种高效、多功能的仿真语言。SLAM 语言正是以此为目的的一种新型的多用途仿真语言。它将面向过程的随机网络、离散事件和连续系统三种类型的仿真机制综合起来，形成一种具有多种构模功能的仿真语言。这种语言既能单独地作随机网络、离散事件和连续系统的仿真，也能进行随机网络和离散事件、随机网络与连续系统或网络—离散—连续相结合的综合仿真。从而扩展了它的构模功能和应用范围，比较适合复杂系统的构模和仿真。SLAM 语言的出现大大推进了仿真技术的进一步提高。

本书除了对 SLAM 语言以深入浅出、理论与实践相结合的方法进行全面的介绍外，还对仿真方法学的背景知识、基础知识、仿真语言以及仿真应用进行了综合阐述。因此，本书是一本完整的仿真方法学。通过学习本书，用户不仅能学到仿真概念及仿真过程，而且能掌握一套建模工序及仿真工具，可以用来解决许多有意义的问题。

本文共分 14 章，第 1 章到第 3 章阐述了仿真学的基本概念和背景知识；第 4 章到第 11 章详细介绍了 SLAM 语言，并附有十八个完整的例子和大量的说明，同时还附有输入程序和输出结果；第 12 章到第 14 章分别对各种仿真语言的比较，仿真输出结果分析和仿真应用等方面进行了阐述。

总之，本书内容丰富，资料新颖，是引导读者学习仿真技术和应用 SLAM 语言不可多得的重要参考书。

在本书的编写过程中，曹军、鲍居源、鲍居仕、孙学成、张鸿端、阎广建、许淑文、庞莉、王宁燕、陈军等也参加了编写工作，在此表示感谢。

由于我们水平有限，书中难免会有缺点和错误，敬请广大读者批评指正，以便进一步修改。

作者于北京  
1993 年 12 月

# 目 录

第一章 仿真与建模简介 .....	1
1.1 问题提出 .....	1
1.2 模型 .....	1
1.3 建模 .....	2
1.4 仿真模型 .....	3
1.5 银行出纳员的仿真 .....	5
1.6 仿真过程 .....	8
1.7 小结 .....	10
1.8 练习 .....	10
1.9 参考文献 .....	10
第二章 概率和统计 .....	11
2.1 引言 .....	11
2.2 试验、样本空间和结论 .....	11
2.3 概率 .....	11
2.4 随机变量和概率分布 .....	12
2.5 期望和矩量 .....	15
2.6 随机变量函数 .....	17
2.7 生成函数 .....	18
2.8 大数定理和中心极限定理 .....	19
2.9 分布 .....	19
2.9.1 均匀分布 .....	20
2.9.2 三角分布 .....	20
2.9.3 指数分布 .....	21
2.9.4 泊松分布 .....	22
2.9.5 正态分布 .....	22
2.9.6 对数正态分布 .....	23
2.9.7 Erlang 分布 .....	24
2.9.8 伽玛分布 .....	25
2.9.9 $\beta$ 分布 .....	26
2.10 伪随机数的产生 .....	27
2.10.1 逆变换方法 .....	28
2.11 随机性的检验 .....	29
2.12 数据采集和分析 .....	29

2.12.1	数据的获得 .....	29
2.12.2	描述统计量 .....	30
2.12.3	拟合分布 .....	33
2.13	统计推论 .....	33
2.13.1	置信区间 .....	33
2.14	假设检验 .....	34
2.15	与仿真有关的统计问题 .....	35
2.15.1	初始条件 .....	35
2.15.2	数据舍位 .....	35
2.15.3	运行时间和重复次数 .....	37
2.16	小结 .....	37
2.17	练习 .....	38
2.18	参考文献 .....	40
2.19	附录: 同余发生器 .....	41
<b>第三章</b>	<b>仿真建模综述 .....</b>	<b>42</b>
3.1	引言 .....	42
3.2	系统与模型 .....	42
3.3	离散仿真建模 .....	45
3.3.1	事件分支 .....	46
3.3.2	活动扫描分支 .....	47
3.3.3	过程分支 .....	47
3.4	连续仿真建模 .....	48
3.5	离散—连续综合模型 .....	49
3.6	SLAM: 统一的模拟框架结构 .....	50
3.7	小结 .....	51
3.8	练习 .....	51
3.9	参考文献 .....	52
<b>第四章</b>	<b>SLAM 网络建模 .....</b>	<b>53</b>
4.1	引言 .....	53
4.2	单服务台排队系统的 SLAM 网络 .....	53
4.2.1	模拟排队和服务 .....	54
4.2.2	模拟实体到达 .....	55
4.2.3	模拟实体的离开 .....	55
4.2.4	综合模拟概念 .....	56
4.3	SLAM 网络建模 .....	57
4.3.1	自节点的实体 .....	57
4.3.2	CREATE 节点 .....	58
4.3.3	QUEUE 节点 .....	59
4.3.4	TERMINATE 节点 .....	62

4.3.5	ASSIGN 节点	63
4.4	活动	67
4.4.1	活动周期	68
4.4.2	分支的随机表示	68
4.4.3	分支的条件表示	68
4.5	范例	69
4.5.1	例 1, 两个并行服务台	69
4.5.2	例 2, 两类实体	70
4.5.3	例 3, QUEUE 节点的阻截和堵塞	71
4.5.4	例 4, 条件和随机分支	72
4.5.5	例 5, 服务时间与节点释放	74
4.5.6	例 6, 特征说明文件和服务活动数目	74
4.6	ACCUMULATE 节点	75
4.7	GOON 节点	76
4.8	COLCT 节点	77
4.9	SELECT 节点	78
4.9.1	ASSEMBLY 排队选择规则	83
4.10	MATCH 节点	85
4.11	RESOURCE 节点和 GATE 节点	86
4.12	利用资源的示例	87
4.13	RESOURCE 模块	88
4.14	AWAIT 节点	88
4.15	PREEMPT 节点	89
4.16	FREE 节点	90
4.17	ALTER 节点	90
4.18	GATE 模块	91
4.19	OPEN 节点	91
4.20	CLOSE 节点	91
4.21	使用资源和门的模型范例	92
4.21.1	例 6, 轮班工作	92
4.21.2	例 7, 机器故障	92
4.21.3	例 8, 白天班的机器故障	93
4.22	符号和语句说明总结	95
4.23	练习	99
第五章	网络仿真: 输入和输出	102
5.1	引言	102
5.2	网络的仿真分析	102
5.3	SLAM 输入语句	105
5.4	格式的约定	105

5.5	网络语句格式 .....	106
5.6	仿真控制语句 .....	109
5.6.1	GEN 语句 .....	109
5.6.2	LIMITS 语句 .....	110
5.6.3	PRIORITY 语句 .....	110
5.6.4	TIMST 语句 .....	111
5.6.5	SEEDS 语句 .....	111
5.6.6	INTLC 语句 .....	112
5.6.7	INITIALIZE 语句 .....	112
5.6.8	ENTRY 语句 .....	112
5.6.9	MONTR 语句 .....	113
5.6.10	SIMULATE 语句 .....	114
5.6.11	FIN 语句 .....	114
5.7	网络模型程序的建立 .....	114
5.8	SLAM 输出报告 .....	115
5.8.1	语句列表和输入错误信息 .....	115
5.8.2	响应报告 .....	117
5.8.3	跟踪报告 .....	117
5.8.4	SLAM 的总结报告 .....	117
5.9	小结 .....	121
5.10	练习 .....	121
<b>第六章</b>	<b>用 SLAM 网络方法解题 .....</b>	<b>124</b>
6.1	用 SLAM 进行网络建模 .....	124
6.2	例 6—1 流水线工作站 .....	125
6.3	例 6—2 生产线上的检验和维修工作站 .....	130
6.4	例 6—3 卡车运输情况的模拟 .....	134
6.5	例 6—4 采矿作业的建模 .....	137
6.6	例 6—5 库存系统的销售损失和回订 .....	140
6.7	例 6—6 港口作业系统 .....	145
6.8	例 6—7 一台发生故障的机械工具 .....	150
6.9	例 6—8 一种 PERT 类型的网络分析 .....	153
6.10	例 6—9 单行道交通分析 .....	158
6.11	小结 .....	162
6.12	练习 .....	163
6.13	参考文献 .....	166
<b>第七章</b>	<b>SLAM 离散事件仿真 .....</b>	<b>167</b>
7.1	引言 .....	167
7.2	离散事件方向 .....	167
7.2.1	一个排队系统的事件模型 .....	168



7.2.2	库存系统的事件建模 .....	171
7.3	离散事件的 SLAM 框架结构 .....	172
7.4	随机分布取样 .....	175
7.5	预置事件 .....	177
7.6	文件操作 .....	178
7.6.1	子程序 FILEM .....	178
7.6.2	子程序 RMOVE .....	178
7.6.3	子程序 COPY .....	179
7.6.4	函数 NFIND .....	179
7.6.5	有关事件日历的文件操作 .....	180
7.7	收集统计结果 .....	180
7.7.1	根据观察的统计结果 .....	180
7.7.2	根据时间持续变量统计 .....	182
7.8	变量和 COMMON 块 .....	182
7.9	输入语句 .....	184
7.10	离散事件输出报告 .....	184
7.11	组合函数功能 .....	184
7.12	离散事件模型的例子 .....	187
7.13	具有移动操作的分散银行 .....	187
7.14	一个折扣商店的仿真 .....	195
7.15	小结 .....	201
7.16	练习 .....	202
<b>第八章</b>	<b>高级离散概念和子程序 .....</b>	<b>205</b>
8.1	引言 .....	205
8.2	额外文件管理程序 .....	205
8.2.1	存取文件和项目指针函数 .....	205
8.2.2	可用性文件 .....	206
8.2.3	文件的列到指针转换: 函数 LOCAT .....	207
8.2.4	使用带有指针值的 SLAM 程序 .....	207
8.2.5	直接存取属性 .....	207
8.2.6	不同拷贝属性的项目删除和填充子程序 ULINK 和 LINK .....	207
8.2.7	两个文件属性计算标准函数 .....	208
8.2.8	文件管理程序小结 .....	208
8.3	附加属性 .....	209
8.3.1	附加属性的子程序 .....	210
8.3.2	子程序 SETAA .....	210
8.3.3	子程序 PUTAA .....	210
8.3.4	子程序 GETAA .....	210
8.3.5	子程序 COPAA .....	210

8.3.6	应用于存储附加属性的子程序举例 .....	211
8.4	报告书写子程序 .....	212
8.5	求有关统计估量值的函数 .....	214
8.6	其他输入语句及支持程序 .....	216
8.6.1	子程序 UMONT(IT) .....	216
8.6.2	子程序 CLEAR, TRACE 和 UNTR .....	218
8.6.3	子程序 ERROR(KODE)和 UERR(KODE).....	219
8.6.4	函数 GTABL.....	219
8.7	例 8—1, 一个 JOB SHOP 调度模型 .....	219
8.8	小结 .....	232
8.9	练习 .....	232
8.10	参考文献 .....	235
8.11	附录: SLAM 存储系统 .....	235
<b>第九章</b>	<b>网络和离散事件 SLAM 复合建模 .....</b>	<b>237</b>
9.1	引言 .....	237
9.2	EVENT 节点 .....	237
9.3	ENTER 节点 .....	239
9.4	复合建模的子程序 .....	239
9.5	改变资源状态 .....	240
9.5.1	释放资源 .....	240
9.5.2	变动资源容量 .....	240
9.5.3	用户编写的资源分配过程 .....	240
9.5.4	子程序 ALLOC 和 SEIZE 举例说明 .....	241
9.6	改变门状态 .....	247
9.6.1	开门 .....	247
9.6.2	关门 .....	247
9.7	停止一项活动 .....	247
9.8	自编码属性赋值、活动持续时间、队列挑选及服务器挑选 .....	248
9.8.1	函数 USERF .....	248
9.8.2	函数 NQS .....	250
9.8.3	函数 NSS .....	252
9.9	复合网络—离散事件模型的 SLAM 处理逻辑 .....	254
9.10	有关复合网络—离散事件模型的输入语句 .....	256
9.11	复合网络—离散事件模型举例 .....	256
9.12	例 9—1, 带挪队的汽车银行 .....	256
9.13	例 9—2, 精神病诊所 .....	260
9.14	小结 .....	265
9.15	练习 .....	265
9.16	参考文献 .....	271

第十章 连续模型 .....	272
10.1 引言 .....	272
10.2 SLAM 关于连续模拟的构造 .....	272
10.3 连续仿真模型的执行函数 .....	274
10.4 状态变量 .....	274
10.5 规定保存时间待记录的数值 .....	275
10.5.1 子程序 GPLOT(IPLOT) .....	275
10.5.2 RECORD 输入语句 .....	276
10.5.3 VAR 输入语句 .....	277
10.6 连续模拟举例 .....	278
10.7 收集有关状态变量的时间性统计量 .....	281
10.8 状态事件: SEVNT 输入语句 .....	281
10.9 编写子程序 STATE .....	283
10.10 利用状态变量的导数模拟 .....	285
10.11 利用状态变量模拟 .....	286
10.12 时间前进过程 .....	287
10.12.1 CONTINUOUS 输入语句 .....	288
10.12.2 时间前进过程小结 .....	290
10.13 例 10—1, 飞行员弹射 .....	290
10.14 例 10—2, 世界动态模型 .....	303
10.15 小结 .....	310
10.16 练习 .....	311
10.17 参考文献 .....	314
第十一章 网络、离散事件和连续系统的 SLAM 综合模型 .....	315
11.1 引言 .....	315
11.2 SLAM 模拟状态—事件 .....	315
11.3 DETECT 结点 .....	316
11.4 编码状态—事件 .....	317
11.5 同时的状态—事件 .....	317
11.6 复合离散—连续模型举例 .....	317
11.7 例 11—1, 油船—炼油厂运转 .....	318
11.8 例 11—2, 均热炉 .....	327
11.9 小结 .....	334
11.10 练习 .....	334
11.11 参考文献 .....	338
第十二章 仿真语言 .....	339
12.1 引言 .....	339
12.2 GPSS / 360 .....	339
12.3 Q—GERT .....	346

12.4 其他面向过程语言 .....	348
12.5 GASP IV .....	348
12.6 SIMSCRIPT II .....	349
12.7 连续仿真语言 .....	355
12.7.1 连续系统仿真语言 .....	355
12.7.2 DYNAMO .....	357
12.8 小结 .....	358
12.9 练习 .....	358
12.10 参考文献 .....	358
<b>第十三章 仿真统计学领域 .....</b>	<b>360</b>
13.1 仿真人员面临的统计学问题 .....	360
13.1.1 名词解释 .....	360
13.2 抽样均值方差 $\text{VAR}[\bar{X}_r]$ .....	362
13.2.1 符号 .....	362
13.2.2 $\text{VAR}[\bar{X}_r]$ 的重要性 .....	363
13.2.3 解释 $\text{VAR}[\bar{X}_r]$ .....	364
13.3 计算 $\text{VAR}[\bar{X}_r]$ .....	365
13.3.1 重复实验 .....	365
13.3.2 子区间 .....	366
13.3.3 再生法 .....	367
13.3.4 参数模拟 .....	369
13.3.5 协方差估计与频谱分析 .....	370
13.4 方差衰减技术 .....	372
13.4.1 对偶抽样 .....	372
13.4.2 公共随机数 .....	373
13.4.3 先验信息 .....	374
13.4.4 作为 VRT 的控制变量 .....	375
13.4.5 其他方差衰减技术 .....	376
13.5 启动对策 .....	376
13.5.1 初始条件设置 .....	377
13.5.2 裁截过程 .....	378
13.6 停步规则 .....	379
13.7 实验设计 .....	381
13.8 小结 .....	382
13.9 练习 .....	383
13.10 参考文献 .....	385
<b>第十四章 仿真的应用 .....</b>	<b>388</b>
14.1 应用领域 .....	388
14.2 财产和事故保险公司地区办公室工作流程分析 .....	388

14.3	航空集散站设施的评价 .....	389
14.4	炼钢厂新建议的投资费用的评价 .....	389
14.5	玉米糊提炼设计 .....	390
14.6	最优系统分配 .....	392
14.7	管道铺设风险分析 .....	392
14.8	化学生产系统分析 .....	392
14.9	自动化仓库仿真 .....	393
14.10	锭模坯量和投资分析 .....	396
14.11	其他应用领域 .....	397
14.12	小结 .....	397
14.13	练习 .....	397
14.14	参考文献 .....	398
附录	SLAM 运行中的错误代码和解释说明 .....	400

# 第一章 仿真与建模简介

## 1.1 问题提出

随着科学技术的发展，工业、商业、政府和社会面临的问题越来越庞大，越来越复杂。因此，解决这些问题的方法和技术显然是非常必要的。本书着重介绍了利用建模技术，特别是仿真建模技术，来解决这些问题。仿真建模技术可用于下面四种层次的问题中：

1. 作为定义一个系统或问题的解释设备；
2. 作为确定关键元素、分支和命题的分析工具；
3. 作为分析和估计目标结果的鉴定工具；
4. 作为预测和辅助制定未来发展规划的预测工具。

如果用仿真模型来解决问题，则必须了解该系统并且定义与本系统有关的问题。我们建议建立模型去解决特殊的问题。尽管模型的形式依赖于解决问题人员背景，但是为了观察系统需要有一个规定的结构。仿真语言提供了这样一种工具。它将一个模型的描述转换成一种计算机系统可接受的形式，然后计算机通过模型进行计算，并输出结果，经分析后就可以作出与问题结果相关的决策。

本书的重点在于说明、描述以及使用新的仿真语言进行可替换建模，即 SLAM。SLAM 支持离散观点的系统建模。在这本书中，我们利用这些观点进行了系统建模，并且包含了用不同方法建立系统模型的情形。

SLAM 是为工程师、管理人员和研究人员而设计的。为此，它不仅提供了强大的输入输出功能，而且还提供了建模图。因为现在许多问题就其性质上来说是统计性的，因此输入和输出功能要求有概率和统计的基础。因此本书的部分章节讨论了与所解问题有关的概率和统计概念。

本书的目的在于为解决问题提供有用的信息，本书同时介绍仿真方法学和 SLAM。本章我们将对与仿真有关的概念以及一些利用仿真模型解决实际问题的方法进行定义和讨论。

## 1.2 模型

模型即是对系统的描述。在物理学方面模型常常建立在定律、定理的基础之上。模型可以是物理模型(传统模型)、数学方程和关系(抽象模型)，或是图形描述(图视模型)。模型在描述、设计和分析系统方面都是非常有用的。许多学生在他们的专业理论方面学习了如何建立和使用模型。模型的建立是一个复杂的过程，而且在许多领域，它是一种艺术。系统建模在以下情况会变得更容易些：1)具有与系统相适应的物理定理；2)可生成系统的

图象或图形描述；3)系统的输入变量、元素和输出是易控制的。

复杂的大规模的系统建模一般来说比物理系统的建模更困难，原因在于：1)没有或很少有可以使用的基本定理；2)涉及的许多过程元素难于描述和说明；3)所需的策略性输入难于定量说明；4)随机量是有效元素；5)人的决策是系统本身的一部分。我们将通过使用仿真技术，来给出解决这些困难的方法。

### 1.3 建模

模型既是对一个系统的概括描述，也是一个系统的抽象描述。为了对系统进行抽象描述，建模者须确定系统中包括在此模型中的元素。为此，应该确立一个建模的目标，并且应给出目标的参考值以决定是否有必要建立一个元素的模型。建模的成功与否取决于建模者定义的有效元素以及元素之间的关系的情形。

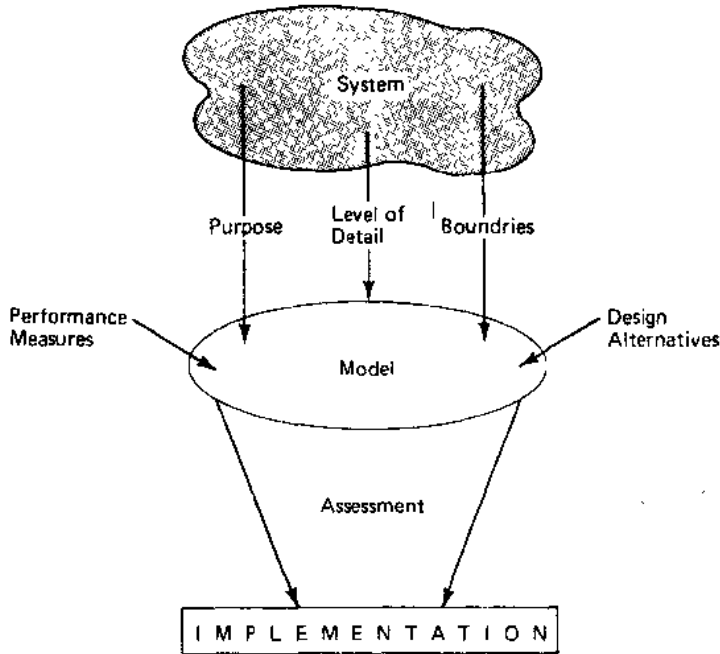


图 1-1 问题求解的建模方法

图 1-1 是本书推荐的建模过程。一个系统可看成是由一系列具有独特功能又相互依赖的单元组成。系统这个概念的定义是不完善的。系统的某个单元的专门定义，以及它们的功能依赖于定义系统的个人。正因为这样，第一步就是要基于一个确定的问题或工程目的来建立建模的目标。有了这个目标，系统的边界和一系列的建模细节就随之建立了。系统抽象的模型忽略了许多实际系统的粗略的边界。在模型中也包括了理想的性能指标和被预估的可替换设计，这些可看做是模型的一部分或作为模型的输入部分。根据专门的性能指标所得到的可替换的设计的估计被看作是模型的输出部分。一般来说，估计过程要求重

新定义和重新设计。事实上，整个建模过程是重复的迭代过程。当可替换的设计经预估后得到可推荐的结果，那么一个执行过程就开始了。执行过程要求在一个很好定义的环境并具有一系列明显的结果的环境中完成，主要决策应在执行过程前完成。

仿真模型适合于完成象图 1-1 这样理想化的解题途径。仿真无论是建立混合模型或是具体模型都有灵活性。仿真也支持重复建模的概念，并容许给模型简单地直接地增加细节。在下一节将要说明仿真模型的这些特性。

## 1.4 仿真模型

本书针对的是在数字计算机上建立和使用的仿真模型。在这个范围内，一个可在数字计算机上以实验的方式执行的系统，它的仿真模型就是对系统的数学逻辑描述。这样，一个仿真模型可以看做是系统的一个实验方案，一旦一个仿真模型建立了，仿真实验就可进行。这些实验或仿真允许从系统中作出抽象。

- 如果系统仅仅是所建议的系统，就不要建立仿真模型；
- 如果系统是实验代价高、不安全的作业系统，就不要干扰。
- 如果实验的目的是为了确定系统的应力极限，就不要破坏它们

这样，仿真模型可用于设计、过程分析和性能预估<sup>[6]</sup>。

仿真已经被用于研究诸如城市系统、经济系统、商业系统、产品系统、生理系统、社会系统、运输系统、医疗保健等等许多系统。表 1-1 列出了应用仿真方法的许多研究领域<sup>[2]</sup>。在 Shannon 和 Biles<sup>[8]</sup>、Turban<sup>[10]</sup> 和 Weston<sup>[9]</sup> 的综述报告中，正象 Shannon 所指出的，仿真和统计方法是工业界和政府用得最多的管理科学和运筹学技术。

仿真建模假设系统可以被描述成计算机系统可接受的状态。这样，一个关键的概念就是系统状态的描述。如果系统能用一系列的变量表达出来，并且一组变量值组合就可以描述系统的唯一状态或条件，那么对变量值的控制就可以模拟系统从一个状态运行到另一状态。精确地说，仿真就是根据定义好的规则，对系统从一种状态运动到另一状态的运动行为的描述。

系统状态的变化可以是连续的或者是离散的。尽管离散和连续的行为描述过程是不同的，但反复描述系统状态变化这一仿真基本概念是一致的。下一节里将通过列举离散系统变化来说明这一基本概念。



表 1-1 仿真方法当前应用的领域

空中交通管制排队	作业安排调度
飞行器维修调度	工作过程控制
机场设计	图书馆运作设计
救护车调度	维修调度
组装线调度	国家人力调整系统
银行出纳员调度	自然资源规划
公共汽车调度	停车场设计
电路设计	数控机床设计
事务处理系统设计	人事调度
通讯系统设计	人口系统研究
计算机内存与测试设备的设计	生态系统研究
顾客行为预测	军事作战策略研究
分布系统设计	石油化工工程设计
企业模型	警察响应系统设计
设备调度	政治投票预测
实验室规划布局	公路货运汽车调度
经济预测	铁路交通调度
保险人员雇佣设计	钢厂调度
货物集散站作业	出租车调度
港口设计	交通灯时间调度
工业模型	卡车运输与装运
信息系统设计	大学财务和工作预测
团体之间的通讯	城市交通系统设计
库存定货规则设计	水资源开发