

管理系统仿真与GPSS

钟守义 编

浙江大学出版社

312

SY/1

TP312
ZSY/1

管理系统仿真与 GPSS

钟守义 编

浙江大学出版社

1988 年·杭州

内 容 简 介

本书介绍了作为管理科学三大基础之一的系统仿真基本原理以及世界上流行最广的一种专用离散系统仿真计算机语言——GPSS。

全书各章通过大量管理实例，对系统模型的建立作了详尽的阐述，并在附录中简介了Honeywell、IBM PC等计算机上运行GPSS仿真程序的步骤。

本书适合于管理工程、计算机及其它理工科专业的高年级本科学学生教学之用，也可作为同类专业攻读硕士学位研究生及从事生产管理、系统分析、工程设计、计算机科学等专业人员参考。

JS386/09

管 理 系 统 仿 真 与 GPSS

钟 守 义 编

责任编辑 尤建忠

* * *

浙江大学出版社出版

(杭州市玉泉浙江大学校内)

余杭县三墩印刷厂印刷

新华书店浙江省总店发行

* * *

开本 787×1092 1/16 印张12.125 字数294千

1988年6月第1版 1988年6月第1次印刷

印数：1—5000

ISBN 7-308-00048-0

TP·005[课] 定价：2.05元

前言

状态变化不连续的系统称为离散系统。生产流程、库存管理、交通运输、计算机操作系统、医院系统、自选市场等都属于离散系统。离散系统的仿真，或称离散系统模拟，是用计算机从数量属性对离散系统的性能与行为进行模仿。这是介于运筹学、数理统计和计算机等学科之间的一门边缘学科，也是对复杂离散系统进行研究的一种有效方法，其应用范围几乎遍及工程技术、自然科学和社会科学各领域。

本书内容分成两大部分，其一是离散系统仿真的基本原理，其二为建立离散系统仿真的模型。这两部分内容密切相关、互相依赖。为清楚起见，本书将基本原理安排在前，模型建立安排在后，但读者阅读时可根据需要交叉进行。为建立模型，本书选择了GPSS，这是一种发表最早、流行最广的专用离散系统仿真语言，国内许多中、小型计算机甚至一些微型机系统中都已配备相应软件，使用较为方便。

学习本课程之前，需要有数理统计的基本知识。对于计算机高级语言，虽然并不是学习本课程所必需，但掌握一门高级语言，如FORTRAN、PASCAL或BASIC，对于本课程的理解会带来很多方便。当然，GPSS和其它专用仿真语言一样，与面向过程的普通高级语言有很多差别，不能把两者中的概念混淆起来，否则就不能很好掌握专用仿真语言，甚至在使用中产生很多微妙问题。

由于系统仿真在我国尚未普及，本书尽可能写得通俗易懂，以便对这一方面有兴趣的读者自学。GPSS语言内容丰富，但作为入门教材，本书又不可能包罗万象。对于希望深入研究的读者，可以参阅书后所附书目中的书刊和有关机器上GPSS的说明书。至于书中GPSS的例题，都在浙江大学计算中心的Honeywell DPS 8计算机上通过。

本书编写过程中得到葛振明副教授、浙大计算中心董大象同志的协助，听过本课程的浙江大学管理工程专业学生曾经提出过许多很有见地的看法，最后，又承蒙同济大学经济管理学院名誉院长翟立林教授的审阅，在此一并致谢。

书中所述内容，限于作者水平，尚有不妥之处，欢迎读者给予批评、指正。

钟守义

1987年6月于浙大

目 录

1 系统与模型

1.1 系统	1
1.2 环境	2
1.3 系统的研究方法	3
1.4 模型	4
习题	6

2 系统仿真的原理

2.1 离散事件与仿真时钟	7
2.2 基本事件的发生	8
2.3 离散系统仿真的原理	9

3 系统仿真过程

3.1 任务的提出与数据收集	15
3.2 计算机模型建立与确认	15
3.3 仿真试验设计与仿真结果分析	27
习题	28

4 初级GPSS

4.1 仿真语言概述和GPSS图示	29
4.2 流动实体的到达和离开	30
4.3 “设备”实体和统计实体“队列”	33
4.4 简化理发馆系统的GPSS模型	37
4.5 实体“仓库”	40
4.6 转向程序块	44
4.7 流动实体的优先级	49
4.8 当前事件链和未来事件链	49

4.9 GPSS处理器执行方式	51
习题	66

5 GPSS中随机分布函数与随机数

5.1 均匀分布随机数发生器	67
5.2 离散值函数	69
5.3 生产管理实例	72
5.4 模型运行的稳定状态及模型重复运行	75
5.5 连续值函数	80
习题	88

6 中级GPSS

6.1 引言	90
6.2 标准数值属性及使用	91
6.3 算术变量	94
6.4 PRIORITY程序块和流动实体优先级的变更	98
6.5 流动实体参数	101
6.6 TEST和SELECT程序块	104
6.7 流动实体的居留时间和过境时间	116
6.8 实体“表格”	117
习题	123

7 高级GPSS

7.1 标准逻辑属性与GATE程序块	125
7.2 实算术变量与布尔变量	127
7.3 “逻辑开关”与LOGIC程序块	129
7.4 保存值与矩阵保存值	131
7.5 “设备”的强占	133
7.6 装配集和有关程序块	137
7.7 用户链和有关程序块	143
7.8 BUFFER和以BUFFER为操作数的PRIORITY程序块	147
7.9 “设备”和“仓库”的“可用”与“不可用”	149
7.10 标准数值属性的间接使用	152
习题	154

附录A Honeywell DPS 8 计算机上运行GPSS程序简介	155
附录B IBM PC或兼容机上GPSSR/PC使用简介	159
附录C GPSS V 中群实体和其它程序块简介	162
附录D GPSS V 中控制语句概要	165
附表A GPSS V 标准数值属性汇总表	168
附表B GPSS V 标准逻辑属性汇总表	172
附表C GPSS V 程序块汇总表	173
附表D 可能使当前事件链改变标志置1的程序块及其条件表	181
GPSS程序块索引	182
参考文献	183

1 系统与模型

1.1 系统

在我们生活的世界中，事物并不是孤立存在的，它们之间往往存在一种内在和有机的联系。系统就是由相互关联、相互依存的事物（或称元素）构成的一个统一整体，而构成系统的元素可以具有各自的特性及特征。系统是事物赖以存在的一种方式。

从形成方式来看，系统可分为自然系统与人造系统两大类。太阳系、长江水系、西双版纳生态系统都是典型的自然系统；铁路公路两用桥梁、自选市场、飞机场候机大楼、码头、理发馆和仓库等，则是典型的人造系统。

自然系统，如太阳系，是历经若干亿年演变而成的，其本身没有任何目的和目标。人造系统，往往是为了满足某种需要或者达到一定经济效益而构造成的。例如，一家理发馆，其目标是满足顾客理发的要求，同时达到赢利的目的。本书只讨论人造系统中一个称为排队系统的类。

我们以理发馆为例，说明什么是排队系统，排队系统有哪些组成部分。

新新理发馆有三位理发师，他们分别叫张三、李四、王五，编号为1，2，3。他们的年龄分别为45，25，33，身高分别为1.68米、1.80米、1.73米，他们的理发技艺各不相同。假定只用一个指标，即用速度来衡量他们的技艺，那么，对于每位理发师来说，理发速度是随顾客要求的发型及其它随机因素变化的。进入这个理发馆的顾客有两个重要特征，其一是他想理成的发型，为了简单起见，假定只有普通型与波浪型两种，其二是顾客进馆的时刻。当然，除此之外，还有姓名、年龄、身高、体重等特征，不过理发师对顾客的这些特征兴趣不大。经过长期观察，顾客发现张三理发技艺最好，而王五最差。于是，自然形成这样一种规律：如果1号理发师闲着，顾客就要求让1号理；如1号忙而2号闲着，则顾客就要求让2号理；如果1号和2号都忙，顾客才让3号理；如果三位理发师全忙着，则顾客排在等待理发的队列的末尾。当某一椅子上的顾客理完时，如果有人等待，则让等待队列中的第一位坐上椅子，开始理发，整个等待理发的队列顺次往前挪动一个位置。

新新理发馆是一个典型的人造系统。下面，我们就构成这个系统的元素、元素的特征以及元素之间的关系作一分析。

每位理发师和每位顾客都是这个系统中的元素，但每个元素又都有各自的特征及特性。从姓名、编号、年龄、身高、体重以及理发速度这些特征，我们可以区分出三位不同的理发师。同样，从进入理发馆的时刻、要求的发型，以及外貌特征，我们也可以区分出各别顾

客。理发师之间是有差别的，但他们具有一个基本共同点，即他们都是理发师。同样，顾客之间千差万别，但他们也有一个基本共同之处，那就是他们是来理发的。系统中这两大类元素之间是服务与被服务的关系，顾客进馆要求理发，而理发师则给顾客理发。理发师之间存在着一定的关系，如当1号闲着时，2、3号不能招呼顾客理发，而当2号闲着时，3号不能招呼顾客理发。顾客之间也存在着一定的关系，如先来者优先理发。

像理发馆中顾客与服务员这样一种系统，现实生活中是很多的。船舶驶进码头，码头上的吊车卸货，在这种码头系统中，要求卸货的船舶就是“顾客”，而用来卸货的吊车则可以理解为“服务员”。

由此可见，上述理发馆的例子是具有普遍意义的。一般说来，由于顾客到达时间与服务时间长短的随机性，某个阶段顾客要排队等待服务，而另一个阶段服务员又无事可做。这样的系统，在数学上称为排队系统，有时也称为服务系统。

1.2 环境

前面提到的理发馆并不是独立存在的。假定这个理发馆地处江南某镇——芙蓉镇，而且是镇上唯一一家理发馆，那么这家理发馆的顾客绝大部分来自于这个小镇。偶而，也有一些外乡人途经小镇时来新新理发馆理发。显然，这个理发馆与它周围的世界，特别是芙蓉镇，是密切相关的。包围着系统的这个外部世界就称为系统的环境。不同的系统有不同的环境与之对应。

环境会影响系统，使之发生某种变化。在本例中，当镇上某一居民进入理发馆时，理发师就要为顾客理发，其状态从闲变为忙。反过来，系统中的活动也会对它的环境发生影响。例如，当理发师为顾客理完发时，顾客离开理发馆回到芙蓉镇，虽然这位居民绝大部分特征未变，但其头发变短了，而且发型也有所变化。

凡是与环境有密切联系的系统称为开放系统。世界上与环境绝对没有联系的系统是找不到的。但是也有这样的系统，环境对它的影响、它对环境的作用微乎其微，小到可以忽略不计的程度。例如，在一个密闭的容器中进行化学反应，当容器壁厚得足以使容器内外无法交换热量时，这种系统可以称为封闭系统。我们将要讨论的是开放系统。

系统与环境之间的界限称为系统的边界。在理发馆一例中，边界就是理发馆的墙、屋顶、地面和门窗。在复杂系统中，正确规定系统边界是很重要的。边界不同，往往表示的系统也不同。例如，理发馆门口有一小块免费停放自行车的场地，当顾客来到理发馆前，场地上能存放他的自行车时，他才进入理发馆。如果条件改成这样，系统的界限应该进行扩展，这块场地也要包括到系统的边界线之内，才符合实际情况。

系统不仅可以将边界往外延伸，还可以从完全不同的观点来看。例如，我们不仅要考察新新理发馆，而且还要研究理发馆所在大街上的商业服务系统。这个系统包括自选市场、旅馆、菜场等等。此时，新新理发馆只是这个商业服务系统中的一个元素。如前所述，理发馆本身就是一个系统。为了有所区分，在研究商业服务系统时可将理发馆看作是它的一个分系统。如果再将研究范围扩大到全镇，那么，理发馆所在大街的商业服务系统又是这个更大系

统中的一个分系统。当然，全镇的商业服务系统也可以按百货、旅社、理发馆、浴室、饭店、自行车修理等行业划分成分系统。

系统本身可以由若干个分系统构成，而系统和它的部分环境又可以构成一个较大系统，这就是所谓的系统等级结构。

1.3 系统的研究方式

系统的研究方式一般有两种：系统分析与系统设计。

系统分析是考察一个现存系统，然后提出调整系统的建议，以便改进系统的性能与行为。例如，通过对新新理发馆的长期观察，将观察到的数据进行统计分析，初步得出结论：由于2号与3号理发师理发速度太慢，顾客等待时间太长，使得有些顾客不耐等待，离馆而去。如果不加改进，会出现新的理发店与之竞争。根据这一结论，又可提出两种方案来改进理发馆服务状态。第一个方案是请1号理发师晚间培训2号与3号理发师，以便在短期内提高他们的速度。这样，就要多付1号理发师的加班费。同时2号与3号理发师技艺提高后也要按较高工资支付。但是，理发效率提高能取得一定经济效益，且减小了新增理发店的潜在威胁。第二个方案是考虑到馆内尚有余地，可以增添一名理发师。这就需要增加一套理发设施及招聘一名理发师，要付出一定代价。但也能相应取得一定的经济效益。经过比较，建议采用第二个方案。

上例是通过真实系统进行观察，利用统计方法处理数据和其它资料，然后用技术经济比较选定改进方案的理发馆系统的分析过程。

系统设计是设计一张具有规定性能和行为的系统“蓝图”。

系统设计的过程一般是，为系统选择具有某种性能的元素，然后按照元素之间关系进行匹配、组合，以形成系统的总体设计，最后检查是否满足为此系统规定的性能与行为。如满足，则设计成功；否则，改变某些元素，或者改变元素的某些性能，或者改变元素的组合方式，再检查，直至满足。通常，总是按类似方式设计几个方案，以便进行方案性能及经济指标方面的比较，从而选定最佳方案。

例如，新建小型码头需要配置装卸吊车。平均每天吞吐量为500吨的码头，现有三种吊车可供选择，中型吊车每天平均装卸货物800吨，小型吊车每天平均装卸货物200吨，而微型吊车则为50吨。第一方案采用一台中型吊车，因为每天平均能装卸800吨货物，故满足码头的吞吐量要求。第二方案采用三台小型吊车，平均起来，它们每天可装卸600吨，这也满足要求。微型吊车对于一些吨位较大的船舶，由于吊臂回转半径和装卸高度不够，无法使用。但是，对于吨位小的船舶还是可用的。所以，第三方案采用二台小型吊车和二台微型吊车，这样平均每天可装卸货物500吨。第四方案采用一台小型吊车和六台微型吊车，装卸量与第三方案同。假定中、小、微型吊车每台价格分别为22万、8万和1.5万，则四个方案投资额分别为22万、24万、19万和17万。根据具体情况，可以采纳某个方案。比方说，资金有限而码头的吞吐量又不要增加，则采用方案四。但如果吞吐量可能增加而资金又够用的话，采用方案一比较合适。

上面对配置吊车方案的考虑是很粗糙的。吞吐量为平均每天 500 吨,但由于随机的因素,对于某一天来说,还是有可能超过或者达不到此数。所以,如果吊车装卸量每天为 500 吨的话,仍然可能有时吃不饱,有时过载。此外,吊车也有可能出故障需检修而使吊车无法满足吞吐量的要求。在码头设计阶段,这些因素都要全盘考虑。

有时,新系统是在旧系统基础上进行全面更新的,如某航空公司准备用计算机实时订票系统代替原有的手工订票系统。在设计这个新系统之前,往往要对原有系统进行系统分析。在此前提下,再对新系统进行系统设计。

1.4 模型

系统的研究有时可以在真实系统上进行,前面对新新理发馆的系统分析就是这样的实例。系统设计中的方案比较有时也可以在真实系统中进行试验,特别是大量生产的产品,如一家汽车制造公司准备更新某种型号的汽车,汽车当然是一个系统,根据若干设计方案制造出若干辆汽车,经受高速行驶、过载、碰撞直至破坏试验,然后选定方案,大批量生产。

但不是所有的系统都能接受这种试验和考察的。例如,设计桥梁(工程系统),绝对不能在同一地点造上若干座桥梁,使它们经受各种荷载试验,然后确定最佳方案。有些系统原则上能接受这种试验与考察,但无论从耗费金钱还是所花时间两方面来考虑都是不现实的。例如,码头装卸有四种方案,由于码头系统比较复杂,无法用简单的技术经济分析来确定最优方案。为了选定方案,从理论上讲,可以将这四种方案逐个进行实施,从而发现最佳方案。但是,各方案要增添的设备或人员不尽相同,对于最终不采纳方案所增加的设备与人员无法妥善处理。再者,各方案实施期间,所承受的吞吐量情况有随机变化,短期无法得到准确的试验结果,而旷日持久的试验又会打乱码头的正常工作秩序,所以这个方法实际上是行不通的。但无论如何,在某种条件下,对真实系统进行试验不失为研究系统的一种方法。

在不能用真实系统进行试验,或者在费用和时间不允许的情况下,可以建立真实系统的模型,然后对系统模型进行试验。

模型是现存系统或拟建系统的一种表示。模型是在真实系统过于复杂,或者太庞大,或者太微小,或者尚未存在等情况下为研究系统而建立的,所以在模型中往往只表现出真实系统中的主要特征而忽略其次要性质,故模型仅是真实系统的一种抽象,或者是对真实系统的一种模仿。

模型有多种分类方法,我们简单地将模型分成实体模型、抽象模型和模拟(analog)模型。

实体模型是真实系统在尺寸上缩小或放大后的相似体,因此其外观与真实系统极为相似。例如,我们打算对理发馆的工作状态进行研究或者向学生以直观方式讲解理发馆的工作过程时,可以制作一个微型理发馆模型,用玩具椅子代替理发椅子,用玩具人代替理发师和顾客,并在大门上挂上一块小小的“新新理发馆”招牌。这就是一个理发馆的实体模型,它从外观上看酷似一个真正理发馆。当然,实际研究理发馆时,大可不必制作实体模型。这种系统比较简单,大家都有过进理发馆的体验。但是对于复杂系统,建立这种模型对于教学与

研究是有一定作用的。

抽象模型可以进一步分为图表模型、数学模型和计算机模型。

图表模型是用图表和流程等形式反映系统中的元素、元素间相互关系以及系统随时间变化的某些性能和行为。在图表模型中，几乎失去真实系统的所有外貌特征，只留下我们感兴趣的系统元素、元素间关系及系统行为的图形与数字的抽象表示。图表模型省去了制作实体模型的费用与时间，而代价是失去了系统的直观性。

一些比较简单的排队系统，经过数学家多年研究，可以用一种数学理论——排队论求得严格的解析解，像新新理发馆系统，可以在排队论中服务员能力不等的三通道等待制模型中求解。

略为复杂一点的服务系统，就难于用现有的排队论求解了。此外，研究一个系统，往往只要求能解决实际问题，即改进现存系统或者设计一个较好系统，而并不一定要求得到严格数学解析解。另一方面，通过图表模型弄清系统随时间变化的状态往往又不胜其烦。此时，我们可以采用第三种模型，即计算机模型。这种模型将系统中具有各自特性的元素以及元素之间的关系在计算机中表示出来，这样，我们可以通过计算机来研究系统。

除了实体与抽象这两类模型外，还有一类所谓的模拟模型。

例如，电学与力学中有许多定律在数量关系上是相似的，电气线路中的参数（如电流、电阻、电容）值的改变以及测定是很易办到的，但是在力学系统中参数（如速度、加速度等）值的测定及物体质量的连续改变却不很容易。所以，人们为了弄清一个力学系统的性质有时用电气线路做试验，这种电气线路就是那个要研究的力学系统的模拟模型。这种模型是实体的，在外观上它又与要研究的系统毫无共同之处，它是从内在规律上对原系统进行模仿。

还有一种模拟模型特别有趣，我们在此作一介绍。传统学习驾驶飞机的办法是先要熟悉飞机上各种仪表，记住它们的作用，再熟悉开动、加速、飞行、上升、减速、下降等各种动作需要操纵仪表的顺序，然后弄清各种紧急状态时处理的方法，等到这一切都掌握之后，才在老练的驾驶员带领下作试飞。即使这样，初次上机时还是心慌意乱，特别是在处理紧急情况时更是手足无措。现代训练飞行员已经采用了新技术。在地面的飞机驾驶舱里，摆满了与真实飞机驾驶舱中相同的仪表、驾驶盘等，驾驶员坐舱前有一个大屏幕。当受训飞行员开动机器、加速、起飞时，在这个屏幕上可以清楚看到飞机离开地面、飞上蓝天，……等等。当然，这一切都是假的。因为他不是在一架真飞机上，他只是在一个地面飞机驾驶舱里，所有机器及操纵仪表并没有与发动机联在一起，相反，这些信号都被送入一台计算机中，计算机对这些信号处理后，就在屏幕上再现出操纵、驾驶飞机的结果。用这种方法训练飞行员，既安全又行之有效，并且花费少，而又能使飞行员在正式飞行前得到比较多的训练。宇航员的训练也是采用这种方法的。这样的地面驾驶舱就是飞机的一个模拟模型。在这个模型中，有些是实体的，如驾驶盘、仪表等，看起来像真的一样，用起来也像真的一样。有些则不是实体的，如从屏幕上看到的飞机周围环境虽然看起来像真的，实际上只是一种图像。

本书只是入门书，不可能详尽讨论这种模拟模型。但是，通过上例可知，如果将系统仿真与计算机图形显示等理论结合起来，前途是非常广阔的。

数学模型是用严格的解析解来描述模型所表示系统的本质特性和行为的。除此之外，其

它模型都是通过试验来观察、研究所表示系统的性能与行为的。对模型进行试验的方法称为仿真(simulation)。

实体模型的试验是在实体上直接进行的,抽象模型的试验是在图表上或者在计算机上间接进行的,模拟模型的试验是直接还是间接要视具体的模型而定。

习 题

- 1-1 试举出工程或管理中较复杂的系统与环境的实例,说明系统与环境之间的关系,系统由何种元素构成、元素之间的关系,及如何将此系统划分为子系统,或扩充系统为更高一级的系统。
- 1-2 从自然科学、工程技术、社会科学中各举一个系统与模型的例子,并解释如何对模型进行试验,及能解决系统的何种问题。

2 系统仿真的原理

2.1 离散事件与仿真时钟

在真实系统中，系统状态的变化是连续的。例如，顾客坐上理发椅子，直至理发师给他理完发，顾客头发的长短、数量和形状连续不断地变化着。又如顾客随着他的脚步越来越走近理发馆，排在等待队列中的第一位顾客随着正坐在椅子上理发顾客的进程延续逐渐趋近于轮到他理发，等等。但是，在对理发馆进行研究时，我们只关心理发师是忙着还是闲着、顾客到达还是尚未到达、顾客正在队列中等待还是已经坐上椅子在理发等。由于这位顾客头发长短、数量和形状连续不断地变化，所以在这个系统中顾客的状态是连续变化的，但是理发师忙的状态未变，顾客坐在椅子上的理发状态未变，因此在这个模型中系统状态是不变的。以后凡是未加说明，系统状态都是指模型中所表示的系统状态。那些能引起模型中的系统状态变化的事情称为事件，如顾客到达理发馆、排在队列中第一位顾客离开队列坐上理发椅子、顾客理完发等等。显然，这些事件只能出现在系统运行过程中的若干时刻上。所以有时将这些事件称为离散事件，而只考虑离散事件的系统称为离散系统。排队系统就属于离散系统。除离散系统外，还有连续系统。连续系统用别的方式考察系统状态的连续变化。本书不讨论连续系统。

事件可分基本事件与二次事件。所谓基本事件是其发生可以事先加以预测的事件，如顾客的到达与顾客理发完毕等。其发生与否取决于其它事件的事件，如等待队列中第一位顾客离开队列坐上椅子这个事件要等某位顾客理完发事件发生后才能发生，这类事件就是二次事件。

我们研究的系统是随时间不断变化的动态系统。理发馆墙上有一只挂钟，它向理发师和顾客报告当前所处时刻。在系统的相应模型中，也应该有类似的设施，我们称它为仿真时钟。真实系统中时钟的类型、内部机构等特征在模型中都是不必考虑的，模型中的时钟只需反映真实系统中的时钟的一个性能，即向顾客和理发师报告当前仿真的时刻。此外，特别要指出的是，虽然仿真时钟所指时刻确实表示真实系统所处时刻，但是仿真时间却由于不同的理解可有不同的含义。其一，是将其理解为真实系统中两个时刻之间所流逝的时间单位数的反映；其二，是理解为采用某种手段（如人工或用计算机等）对这个系统模型进行仿真时在两个仿真时刻之间的实际时间。为了有所区分，我们将前者称为理论仿真时间，后者称为实际仿真时间，这两者之间可能有巨大的差异。例如，一台包括 100 个终端的计算机系统，事件发生的时间（理论仿真时间）量级往往为毫秒。但是有关的模型在计算机中进行仿真

时，所化的实际仿真时间也许要慢好几千倍。反之，理发馆开门一天 480 分钟（理论仿真时间）的工作情况，其模型在计算机上运行时用几秒钟的实际仿真时间就全部仿真完毕了。这对于通过对模型的仿真来研究系统性能与行为特别有利。工作过程特别长的系统通过仿真可以大大缩短研究时间，工作过程过于短暂而难于对其观察的系统，通过仿真可以放慢步伐，弄清系统的详细行为。以后凡是不加说明，仿真时间指的是理论仿真时间。

最后还需要说明的是，仿真时钟与真实时钟的走法是不同的。由于我们关心的只是发生离散事件的那些时刻，所以仿真时钟并不需要像真实时钟那样一秒一秒地走时，我们只需在下一事件到来的一刹那，将仿真时钟拨到那个事件到来的时刻。这样做，往往可以节省大量的实际仿真时间。

2.2 基本事件的发生

一般而言，系统中基本事件的发生带有随机性，这反映了客观世界的千变万化，同时也增加了系统研究的复杂性。在理发馆系统中，有两类基本事件：顾客到达和顾客理完发。

顾客到达事件与其它事件无关，即这一事件是独立的。虽然某一位顾客到来的时刻是不确定的，但是通过对大量顾客到达时间的观察可以发现两位相继而来顾客之间的时间间隔还是有某种规律可循，这种规律称为随机分布。通过随机分布，我们可在系统处于初始仿真时刻预测第一位顾客将于何时到达，或者在一位顾客到达时预测下一位顾客将过多少时间到达。假定对于顾客到达时间间隔，我们已经采用某种方法得到一组服从某种随机分布的随机数（见表 2.2-1），现在，让我们来观察一下理发馆基本事件的发生情况。

表 2.2-1 理发馆系统基本事件发生的随机数表

基本事件 \ 随机数号	随机数号									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
下一位顾客到达时间间隔	2	4	21	9	2	6	10	1	2	8
1号理发师理发时间	18	21	20	20	21	21	18	18	21	19
2号理发师理发时间	30	29	26	27	28	28	27	29	29	30
3号理发师理发时间	32	33	30	31	32	30	30	33	31	31

当仿真开始时，仿真时刻为 0。此时可以预测第一位顾客到达时间。为此，从相应组中取出第一个随机数（2），如果时间单位为分，则第一个顾客将在仿真时刻为 2 分时到达。在仿真时刻为 2 时，预测的那位顾客到达。这位顾客的到达使我们可以预测第二位顾客到达时间。此时，从相应组中取出第二个随机数（4），这表示从上一位顾客到达到下一位顾客到达之间的时间间隔为 4 分钟，也即第二位顾客将在仿真时刻为 $2 + 4 = 6$ 分时到达。以后各位顾客到达时刻的预测可依此类推。图 2.2-1 中仿真时刻轴上有小圆圈处表示顾客到达时间。

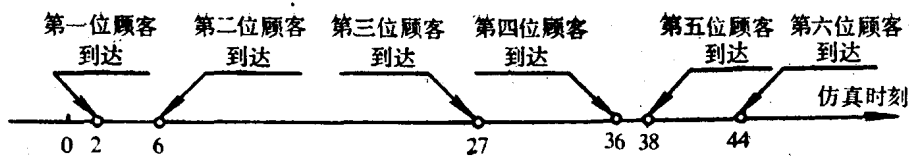


图2.2-1 理发馆顾客到达时间图

通过大量观察，我们可以得知理发师理完一位顾客的平均时间，比方说1号理发师为20分钟。但是由于各种因素的影响，如顾客头型、外界气候、理发师心理与生理状态等，对于某一具体顾客理发所用时间将在18, 19, 20, 21, 22这5个数值上随机变动。如果取这五个值的概率相同，则我们称这种分布为在18与22之间均匀分布（这不是严格意义下的均匀分布）。2号、3号理发师平均理发时间分别为28与32分钟，并分别在26与30、30与34之间均匀分布，假定三位理发师之间工作互不干扰，我们可从均匀分布得到三组随机数，分别表示此三位理发师为顾客理发所需时间的预测值，详见表2.2-1。

当某一仿真时刻一位顾客坐上1号理发椅时，我们就从1号理发师随机数组中依次取出随机数，表示此位顾客理发时间的预测值。而2号、3号理发师对某一仿真时刻顾客的理发时间预测值则分别从2号、3号理发师的随机数组中依次取数。

2.3 离散系统仿真的原理

一个系统的状态，可由一组数据来表示，然后，用一个图表将这些数据有机地组织在一起。这样的图表称为系统状态图。系统状态图形成系统的一个图表模型。为了易于理解起见，我们用系统状态来表示某个特定仿真时刻系统所处的状态。随着仿真时刻的延续，通过系统状态图的不断变化来观察系统仿真过程。这里，还是用新新理发馆作为例子来解释离散系统的仿真原理。

当理发馆早上打开门时，墙上挂钟指向8:00，三位理发师全空闲着，等待第一位顾客的到来。等待理发的队列空着。图2.3

-1就对应于这个时刻的系统状态图，时钟框中数字表示此图反映仿真时刻为0时的系统状态，理发师框表示三位理发师此时所处状态（0表示空闲，1表示忙）。等待理发队列框中的空白表示尚无顾客等待（等待队列只画了五个位置，但系统不作此限。当等待顾客超过五位时，可以继续加进去）。右边表示将要发生的未来事件，其中下一

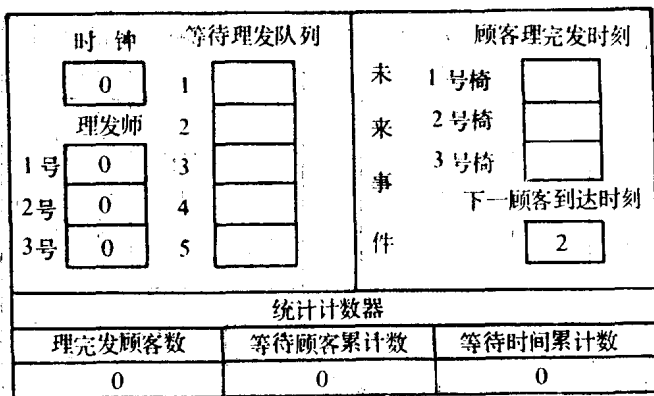


图2.3-1 理发馆系统状态图(仿真时刻=0)

顾客到达时刻框中数字 2，表示第一位顾客将于仿真时刻为 2 时到达。此数值由当前时钟时刻加上从顾客到达随机数组中取来的第一个数（2）得到。理发椅子上顾客理完发时刻框中空白表示三张椅子都空着，没有顾客在理发。统计计数器表示我们所关心的那些统计数据在仿真时刻为 0 时的数值。

从此系统状态可以发现，下一个最早可能发生的事件是一位顾客到达，此事件发生的时刻为 2。在仿真时刻 0 与 2 之间，系统状态不会发生任何变化，于是就不必画出了。

当时钟走到 8:02 分时，第一位顾客到达。他发现 1 号理发师闲着，于是就直接坐到 1 号理发椅上，开始理发。由于他的到达，就可以对第二位顾客到达时刻进行预测。从顾客到达随机数组取出第二个数（4），因为此数表示两位顾客到达时间间隔，而上一位是在 2 分时刻到达，故下一位将于 $2 + 4 = 6$ 分时刻到达。同时，由于第一位顾客坐在 1 号理发椅上开始理发，我们可以预测 1 号理发师将用多长时间理完。从 1 号理发师理发随机数组中取出第一个数（18），这位顾客坐上椅子时为 2 分，所以理完发的时刻将在 $2 + 18 = 20$ 分。统计计数数据并没有发生变化。系统在仿真时刻 2 分时的状态见图 2.3-2。

时 钟	等待理发队列	顾客理完发时刻
2	1	未 1 号椅 20
理发师 2	2	来 2 号椅
1 号 1	3	事 3 号椅
2 号 0	4	件 下一顾客到达时刻
3 号 0	5	6
统计计数器		
理完发顾客数	等待顾客累计数	等待时间累计数
0	0	0

图 2.3-2 理发馆系统状态图(仿真时刻 = 2)

从图 2.3-2 可以看到，这时时钟已拨到 2 上，表示这是仿真时刻为 2 的系统状态图。1 号理发师框中数值由 0 变为 1，表示 1 号理发师忙着为顾客理发。等待队列以及统计计数器状态未变。从未来事件中发现有两件事即将发生，其一是下一顾客到达，其二是 1 号理发椅上顾客理完发。但是，这两件事出现有先后。从它们发生的时刻来看，顾客到达事件发生在前，1 号理发椅上顾客理完发发生在后，所以使当前系统状态发生变化的最早时刻将在仿真时刻为 6 时。

时 钟	等待理发队列	顾客理完发时刻
6	1	未 1 号椅 20
理发师 2	2	来 2 号椅 36
1 号 1	3	事 3 号椅
2 号 1	4	件 下一顾客到达时刻
3 号 0	5	27
统计计数器		
理完发顾客数	等待顾客累计数	等待时间累计数
0	0	0

图 2.3-3 理发馆系统状态图(仿真时刻 = 6)

下一步就是将仿真时刻拨到 6，此时第二位顾客到达理发馆。当他走进理发馆时，1 号理发师正忙着为顾客理发，2 号和 3 号理发师闲着。于是，他就坐上 2 号理发椅子。这样，2 号理发师状态由闲变忙，其框内数值由 0 变 1。由于此位顾客到达，就可以预测下一顾客的到达时刻。从顾客到达随机数组中取出第三个数（21），加上此时仿真时刻 6，可知下一顾客将于 27