

TONG XIN XI TONG DE
JI SUAN JI FANG ZHEN

通信系统的计算机

仿真

谭楚梁 编著

北京邮电学院出版社



通信系统的计算机仿真

谭楚梁 编著

北京邮电学院出版社

内 容 提 要

本书以通俗易懂、理论联系实际的方式,阐述了通信系统计算机仿真的基本内容和方法。全书共十一章,不但介绍了一般通信设备的仿真,也介绍了有关计算机网络仿真的基本手段,同时还为系统动态仿真提供了基本知识,本书在相关部分编入了程序框图或程序,以便读者在学习本书之后能很快运用计算机仿真于自己的课题。

本书可作为高等工业学院通信类高年级本科生或研究生的教材,亦可作为从事通信专业或做管理工作的工程技术人员的参考。

通信系统的计算机仿真

编 著 谭楚梁

责任编辑 姜 瑛

*

北京邮电学院出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京通县向阳印刷厂印刷

*

850×1168毫米 1/32 印张 15.375 字数 396.3 千字

1989年1月第一版 1989年1月第一次印刷

印数: 1-2000册

ISBN 7-5635-0023-5/TN·6 定价: 3.65 元

前 言

仿真通过建立系统模型，并对模型进行实验研究，以代替对于实际系统的研究，因为模型的应用较为方便，易于理解。

仿真方法的研究与运用，已有很长的历史。早期的仿真主要是物理仿真，如用于船舶、建筑、飞机设计的比例仿真等，均属此类。

电子计算机的发明，无疑是二十世纪最辉煌的科学技术成就之一，它大大地推动了各种科学技术的发展，计算机仿真即其中之一。

所谓计算机仿真就是在计算机上构成模型，然后去进行运转实验，当然这里所说的模型实际上是一连串的命令，或者说是程序化了的数学模型。

目前，计算机仿真已被广泛应用于通信、航天、航空、船舶、军工、化工、交通运输、生物、医学、管理以及社会经济系统各方面，并取得了可喜的成绩。

那么计算机仿真为什么发展如此迅速呢？首先，计算机仿真是较经济、省时、省人力的方法。例如要设计某种通信设备，方案设计之后，首先在计算机上仿真、研究、修改、论证寻优，比之传统的一开始就搭电路、比较、测试的方法要快、省、好得多。其次，对于某些系统，如大型计算机网、载人宇宙飞船、人的神经作用等，不可能直接实验，而只能通过计算机仿真解决。至于对社会经济系统的预测，则更常借助于计算机仿真。

计算机仿真的设备，则是随着计算机的发展而发展的。五十年代计算机仿真的主要工具是模拟计算机，模拟机虽然速度快，但

精度差，且多系专用机而显得不经济。六十年代所出现的模拟数字混合计算机，虽兼有模拟机的速度和数字机的精度，但也因多系专用设备而仍不经济。随着数字计算机在硬件和软件方面的发展，利用通用数字计算机进行计算机仿真的技术得到了很大的发展。本书主要论述通信系统的数字计算机仿真。

本书第一章介绍系统模型、仿真的一般原则和步骤，第二章着重讲随机数的产生，第三章介绍通信系统的一般模型及其在仿真中的处理方法，第四章介绍目标系统，第五章介绍在仿真中需要的一些排队知识，第六、七章介绍离散系统仿真语言 GPSS 及其在通信系统中的应用，第八章的系统动态学模型语言是为管理专业的同志及将来可能从事管理工作的读者准备的，第九章介绍状态变量及 FORTRAN 子程序包，第十章介绍优化方法，而第十一章则介绍微机在仿真中的应用，当然这只是一些初步的知识。

本书可作为电子类、通信类大学本科高年级学生以及研究生在学习计算机仿真方面的教材，也可作为从事通信研究的科研、工程技术人员在仿真方面的参考。

由于编著者水平有限，书中疏漏或错误之处，欢迎读者批评指正。

本书系根据原通信系统计算机仿真讲义修改而成。在编写讲义过程中，承胡健栋教授、王德隽教授对全部内容作了审阅，亢耀先教授对第五章内容作了校正，同时邮电科学研究院研究生部多次印刷了该讲义，在此表示谢意。

谭 楚 梁

一九八八年十月

目 录

前 言

第一章 系统模型

§ 1-1 系统的概念	(1)
§ 1-2 建立系统模型的方法与原则	(2)
§ 1-3 计算机仿真的类型	(4)
§ 1-4 计算机仿真的基本步骤	(5)

第二章 概率与仿真

§ 2-1 离散概率群函数	(6)
§ 2-2 连续概率函数	(8)
§ 2-3 条件概率密度函数与联合概率密度函数	(11)
§ 2-4 随机变量的数字特征	(12)
§ 2-5 连续概率函数的数字求值	(17)
§ 2-6 连续均匀分布随机数	(20)
§ 2-7 用计算机产生均匀分布随机数的方法	(23)
§ 2-8 均匀分布随机数发生器示例	(26)
§ 2-9 关于随机数的检验	(33)
§ 2-10 不均匀连续分布的随机数	(46)
§ 2-11 离散分布随机数的产生	(64)

第三章 通信系统中的若干模型

§ 3-1 信号源	(66)
§ 3-2 关于滤波问题	(73)
§ 3-3 关于调制与解调问题	(92)

§ 3-4	关于抽样数据技术问题	(100)
§ 3-5	一些其它电路模型	(115)
§ 3-6	关于系统性能判决中的几个问题	(117)
§ 3-7	利用相关函数提取信号	(124)

第四章 目标系统

§ 4-1	抽样率及内存问题	(133)
§ 4-2	实时仿真及定点仿真	(134)
§ 4-3	某数模综合传输方案的仿真	(135)
§ 4-4	某TDM/FDM转换设备方案的仿真	(143)
§ 4-5	选择性衰落影响的仿真	(154)

第五章 排队与仿真

§ 5-1	到达模式	(167)
§ 5-2	指数分布及波松分布的产生	(174)
§ 5-3	爱尔朗分布	(178)
§ 5-4	服务时间及排队规律	(181)
§ 5-5	排队模型与排队度量	(182)
§ 5-6	排队问题的数学解	(186)
§ 5-7	系统的优化	(191)

第六章 GPSS 介绍

§ 6-1	综述	(195)
§ 6-2	程序单的基本格式	(200)
§ 6-3	作用时间	(201)
§ 6-4	事件的连续性	(202)
§ 6-5	装置与仓库	(203)
§ 6-6	收集统计	(208)
§ 6-7	通路选择	(208)
§ 6-8	关于输出报告	(210)
§ 6-9	程序控制语句	(213)

§ 6-10	优先与参数	(216)
§ 6-11	标准数字属性	(219)
§ 6-12	函数	(222)
§ 5-13	自选市场的仿真	(223)
§ 6-14	参数传送与函数传送	(228)
§ 6-15	逻辑开关	(232)
§ 6-16	检测条件	(232)
§ 6-17	循环	(234)
§ 6-18	间接寻址	(235)
第七章 GPSS 在通信系统中的应用		
§7-1	简单电话系统的 GPSS 模型	(244)
§7-2	集的操作	(249)
§7-3	关于在计算机网设计中应用的举例	(256)
第八章 系统动态学模型语言(DYNAMO)		
§ 8-1	系统动态学模型	(269)
§ 8-2	反馈	(272)
§ 8-3	流位变量与流率变量	(274)
§ 8-4	系统中的延迟现象	(275)
§ 8-5	DYNAMO 语言概述	(279)
§ 8-6	系统动态学方程	(283)
§ 8-7	Micro-DYNAMO 中的函数	(286)
§ 8-8	系统动态仿真模型的输出与运行	(296)
第九章 状态变量及 FORTRAN 子程序包		
§ 9-1	从一个例子入手	(308)
§ 9-2	系统的基本状态变量方程	(311)
§ 9-3	微分方程如何变为状态方程	(315)
§ 9-4	求解状态方程的数值方法	(316)
§ 9-5	求解线性时不变系统状态方程的计算机程序	(319)

§ 9-6 状态变量和其他微分方程的框图表示法	(322)
§ 9-7 FORTRAN 子程序包	(324)
§ 9-8 离散时间系统	(341)
§ 9-9 离散时间系统的状态变量方程组	(343)
§ 9-10 线性时不变离散时间系统状态变量方程的求解	(345)

第十章 仿真与优化

§ 10-1 一元函数最优化方法	(348)
§ 10-2 多元函数最优化方法	(362)

第十一章 微机与仿真

§ 11-1 多微处理系统分类	(398)
§ 11-2 多微处理器计算机系统的互连和通讯	(404)
§ 11-3 关于多微机系统的并行算法和软件	(410)
§ 11-4 关于利用多微处理机仿真大型网络的问题	(420)

参考文献

附录一

1. 正态分布表
2. χ^2 分布表
3. 游程总数检验表
4. 游程长度检验表
5. 关于游程总数检验表及游程长度检验表使用的说明

附录二 关于在ACOS450 机上运行GPSS的几点说明

附录三 关于Micro-DYNAMO的操作。

第一章 系统模型

§1-1 系统的概念

关于“系统”，简单的说可以定义为：“按照某些规律结合起来，互相作用，互相依存的所有物体的集合或总和”，因此通信系统可以简单定义为：“为了完成某项通信信号传送任务，按照某些规律结合起来，互相作用，互相依存的所有物体的集合或总和”。根据研究的对象及目的不同，系统可大，可小。例如，全国的通信网构成一个系统，地区通信网也构成系统，一部单机，如载波机，数传机也构成系统，就是人们在等待发报时，也构成一个简单的排队系统。

系统内总存在某些确定的物体，如调制器，解调器，信息等，我们称为实体。每一物体都包含一些有效的特征，我们称之为实体的属性，如信息为正弦波、脉冲波等。在系统内部发生的任何变化过程，称为活动，如将频带外信号滤除等。

在任意给定时间，对系统所有实体、属性和活动的情况，我们用系统状态来加以描述。许多系统有许多可能的状态，系统模型的目的在于描述这种系统状态的改变。一个系统的状态，如不再改变，我们称它为稳态，如果状态不稳定，则称为暂态。

每一个系统都置于一定的环境之中，在仿真中，系统和环境之间的关系，必须清楚定义。系统活动，如果其影响完全局限于系统内部，称为内生活动，存在于环境之中而影响系统的活动称为外生活动。具有外生活动的系统称为开放系统，具有内生活动

的系统则称为封闭系统。系统和环境之间的分界则称为边界。

被仿真的系统称为实际系统。

如果系统中有一项活动，执行该项活动的结果，其输出完全可以用输入来加以描述，则称为确定型活动。如果系统中有另一项活动，它受随机变化的影响，系统输出可能得到各种各样的结果，则把这样的活动称为随机型活动。随机型活动通常用概率分布来加以描述，例如电路系统中的噪声，电话系统中通话时间的长短均属于随机型活动。具有确定型活动的系统，称为确定型系统，而具有随机型活动的系统，称为随机系统。

关于随机系统造型的基本技术有两种，即离散系统模型和连续系统模型。离散系统模型允许在一定时间间隔进行变化，其输出为一组离散点。连续系统模型则系统模型由一连续函数加以描述，其输出可为一平滑曲线。

§1-2 建立系统模型的方法与原则

在对一个实际系统进行仿真研究时，首先要建立一个系统模型，以便于对系统的研究有所指导。但建立系统模型并不需要考虑系统的全部细节，所以一个模型不仅是用来代替系统，而且应该是这个系统的简化，即抓住主要矛盾。例如对一个收音机来进行仿真时，我们可以把电源变化、天电干扰、元件老化等这些因素对输出的影响加以忽略，而得到一较简单的模型。

当然，即使是同一个实际系统，由于仿真的目的不同，其系统模型也将不一。

由一个系统求得模型的任务，一般可以分为两项，第一是建立模型结构，第二是提供数据。建立模型结构要确定系统的边界，鉴别系统的实体、属性和活动。而提供数据的任务，则要求所提供的数据能够使包含在活动中的各个属性之间有确定的关系式。

事实上建立模型结构和提供数据是一项工作的两个侧面，并不作为两项独立的任务看待，因为它们二者密切相关，所以通常一部分工作任务能够在另一部分工作任务内完成。或者具体来说，在对某一通信系统仿真时，一方面要建立模型结构，另一方面则要对输入信号的大小和性质（如正弦或伪码信号）、各部件输入和输出间的数学关系（即数学模型）、滤波器的系数、输出测试的方法及指标等，均加以收集。同时一些中间输出结果也必须做到“心中有数”，才便于对仿真的结果进行正确判断。那么建立系统模型的基本原则有哪些呢？大致可以分述如下：

一、建立方块图

可以用一系列方块图来描述系统，建立方块图的目的，在于简化对系统内部互相作用的说明，每一个方块图用来描述系统的一个部分，然后将方块图联系起来，把系统作为一个整体来加以说明，这样用图解法时，就能用简单的方法表示一个系统了。

例如，前述的收音机系统，其电路是较为复杂的，然而用方块图则可描述如图 1-1。

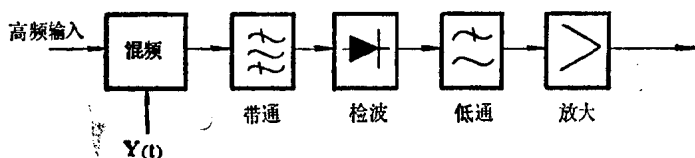


图 1-1

这样就显得简单而明确了。

通常，我们将实际系统简化了的系统模型称为源系统，而相应于源系统的子程序的集合称为目标系统。描述各方块数学关系所需之子程序，称为目标系统元件。在这里源系统和目标系统，方块与目标系统元件，它们之间的关系既有联系又有区别，这是必须加以注意的。

二、相关性

前面已经谈到,模型中只应该包括与研究目的有关的信息,因为无关信息的引入,虽不会有害处,但它会增加模型的复杂性,而使得求解模型时增加额外的工作,甚至带来困难,所以应该把无关的信息除外。

三、准确性

建立系统模型时,应该考虑所收集的、用以建立模型的信息的准确性,因为数据来源不准确,必将不能得到正确的仿真结果。

一个有经验的仿真工作者,不但慎重对待每一个数据,而且对每一个子程序均必须认真检查,分段把关,然后再连成目标系统。

§1-3 计算机仿真的类型

我们可以用系统模型来对系统进行研究。这种研究大体可分为五类:即系统分析、系统设计、系统假设、规划设计和系统实现。

系统分析的目的是对现存设备的性能进行分析,从而提出改进的意见,这种方法不但经济省时,而且设备正在运行而不可能在机器上实验时,采用仿真则较方便。

系统设计:不但在系统初步设计后,可利用计算机仿真以证实这个方案的可行性,并测试其性能,同时可通过仿真确定参数、寻优并进行方案比较,这比之搭电路进行实验要省钱省时得多。

系统假设:当系统性能受某些因素影响,但又不确切知道其影响的数学关系时,可根据这些因素对系统性能影响的实际情况,提出数学模型的设想,经过多次调整参数,进行仿真,选择那些与实际情况相符合的参数作为经验公式,以指导理论研究和作为下次设计的依据。例如串音的研究;潮湿、空气含尘、冰雪

对通信线路的影响的研究；就可依此法进行。

规划设计：一般用于社会经济系统，如一个地区，通信网建设方案的规划论证、效益预测均属此类。

系统实现：即在仿真基础上，将仿真程序硬化，从而直接用微处理机作为某项通信设备来应用。

§1-4 计算机仿真的基本步骤

对通信系统进行计算机仿真的基本步骤可具体归纳如下：

(1) 把整个通信系统，即实际系统简化，得到源系统。然后把源系统的工作过程进行分块，分成许多既互相联系，又互相独立的工作单元，从而使整个工作系统形成流程，绘出流程图。

(2) 确定每个单元的输入输出变量、常量与参量的数据，如果是随机变量的话，则给定其统计特性。

(3) 根据整个系统和每个单元的工作原理，详细推导出所需数据量间的数学关系，并将其形成数学模型。

(4) 确定输出判决方法与收集指标。

(5) 按确定之数学模型，寻找或编写出相应的计算子程序，即确定目标系统元件。

(6) 将所确定之函数程序，仿真计算程序联接起来，并按规定的时间和范围，确定输入输出之数据，编制整个系统仿真的工作程序即目标系统，然后上机计算。

(7) 最后是对照与修改，将计算结果与预期结果对照，检验，纠正程序中错误，调整程序中的某些参数，多次重复，直至获得正确结果为止。

在上述步骤中，关键是正确地确定数学模型，模型正确合理则结果自然正确，至于程序则不过是较为繁琐，要求耐心细致的工作而已。

第二章 概率与仿真

在第一章中已经说明，若一项活动的输出可以完全按照它的输入来描述时，则把该项活动称为确定型活动，相应的模型称为确定型模型。但是有许多活动的输出是无序的，所以就把具有这种性质的活动称为随机型活动或随机过程，而所相应的模型就称为随机模型。

在通信系统中，由于电子的热骚动所引起的电流电压变化就是随机的，这些电流电压变化附加在有用信号上就会引起随机噪声。又例如电话中，通话时间的长短也是随机的。

随机活动可以是离散的，也可以是连续的。例如电话中，在一个时间区间内有多少外线在进行呼叫，这是离散的，然而通话时间的长短则是连续的。

在通信系统仿真中，我们经常用计算机产生一个随机数列去表示随机变量，这种数列通常被称为伪随机数。一些大型的计算机常备有各种随机数以供调用，但在小型计算机中则常需由仿真工作者自排程序产生，因此掌握随机数的产生甚为重要。

§2-1 离散概率群函数

如果一个随机变量 x 可以取 I 个不同的值，用 $x_i (i=1, 2, 3, \dots, I)$ 表示，在 N 次试验中，设出现 x_i 的次数为 N_i ，则

$$p(x_i) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_i}{N} \quad (2-1)$$

称为出现事件 x_i 的概率。因为 $i=1, 2, \dots, I$, 则 $p(x_i)$ 的集称为概率群函数。又因为随机变量必须是从这些数值中任取一个, 所以

$$\sum_{i=1}^I p(x_i) = 1 \quad (2-2)$$

在通信系统仿真中, 离散随机变量的例子如: 在一个电话系统中, 在每10分钟间隔时间内, 参与呼叫的外线数是离散随机的, 又如在一个月内, 一个居民区中, 每个住户投寄邮件的数量也是离散随机的。

概率群函数可以是一已知数的集。例如投掷骰子, 每面出现的概率为 $\frac{1}{6}$, 但是通常所指的概率群函数必须是在采样过程中, 通过对每一个值可能发生的次数来进行估计的, 也就是说, 要通过计算在全部观察次数中得到每一个值的次数, 来估计该值出现的概率。

例如, 在某一居民区, 对250户居民所作的调查中, 数字表明每月寄一封信者为25户, 寄2封信者128户, 3封信者47户, 4封信者38户, 5封信者12户, 由此可列表如下。

表2-1

寄 信 数 x_i	居 民 户 数 N_i	概 率 分 布 $p(x_i)$	累 积 分 布 $P(x_i)$
1	25	0.10	0.10
2	128	0.51	0.61
3	47	0.19	0.80
4	38	0.15	0.95
5	12	0.05	1.00
总 计	250		

表中第3列即为概率分布 $p(x_i) = \frac{N_i}{N}$, 第4列为累积概率

分布函数，它的每一个值是第3列概率分布的累积。由表可见，它随着随机变量值的增加而增加，其最大值为1。

概率函数可以用图形加以表示，图2-1(a)是表2-1中第3列数据的图解形式，即概率群函数的图解形式，而(b)图则为累积概率分布函数，即表2-1中第4列的图解形式。

由图可见，概率群函数为条状直方图，而累积概率函数则为阶梯形曲线，在这里需要注意的是累积概率函数图形中不连续的数值取值问题，例如0.61这一点只与发信数为2有关，而与3无关。

在这里还要加以指出，即此间所用概率分布，在一般数学书中称为概率。而此间所用累积概率分布，在一般数学书中却又称为概率分布，或简称分布函数。

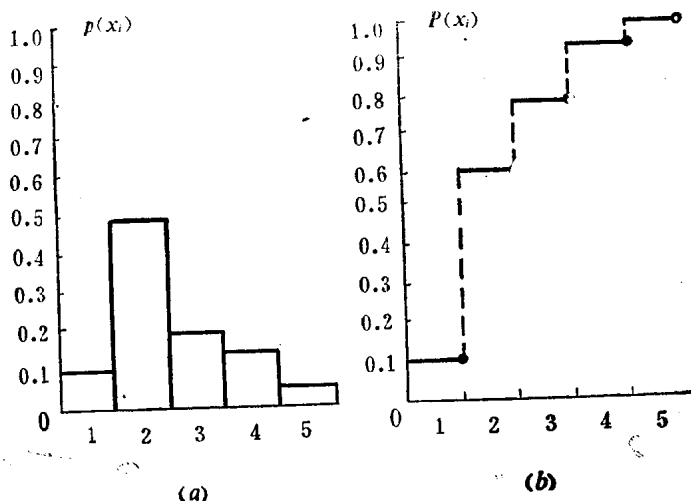


图2-1

§2-2 连续概率函数

前面介绍了离散随机变量，如果被观测之随机变量为连续变量，而不是离散值，则可假定该随机变量具有无限个可能值，而