

随机系统数字仿真子程序库DSRS¹⁾

李名世

(厦门大学)

摘 要

本文介绍了DSRS随机系统数字仿真子程序库,它可用于随机变量抽样以及随机微分方程、随机服务系统、随机PERT网络和离散线性随机控制系统的数字仿真。对某些难以用解析理论加以处理的系统,计算机仿真可以提供数值解。DSRS用FORTRAN-IV语言写成,首先在PDP-11/03微型机上实现。

生物、工程和社会经济领域里研究的各种系统,难免存在着许多不确定因素,因而大多呈现为随机系统。这时系统的输出不是确定量,而是随机变量或随机过程。当系统模型较为复杂时,用解析的方法描述输出量的分布特征就显得十分困难,有时甚至是不可能的。采用基于大数定律的Monte karlo方法,研究系统输出量的某些统计性质就成为一种切实而有效的方法。

作者利用微型机对若干随机系统作数字仿真,初步建立了一个仿真子程序库DSRS。程序用FORTRAN-IV语言写成,并在PDP-11/03微型机上调试通过。整个程序库采用积木式的程序设计方法。所有的基本功能模块都编写为子程序,编译后组装成子程序库。将库文件与仿真主程序连接后,库内模块就如标准外部过程和外部函数一样,可被随意调用,构造各种系统。另外,利用RT-11操作系统可方便地对库文件进行模块的插入、删除、抽取、置换和修改,因而程序库具有较好的可维护性和可扩充性。仿真时必要的输入数据和输出数据都记录在磁盘数据文件上,籍以进行各种不同的统计分析。子程序库DSRS包括以下几个部分:

一、抽样程序

随机系统数字仿真的基础,是产生具有既定分布特征的各种随机变量、随机向量和随机过程的抽样值。利用机器提供的基本外部函数RAN(产生 $[0, 1]$ 上均匀分布的随机数),程序库分别给出能够产生如下分布的随机数的子程序:

1) 离散分布。包括几何分布、二项分布、Pascal分布、Poisson分布和一般离散分布;

本文于1984年3月5日收到。

1) 本文曾在1983年全国第四届系统仿真学术会议上宣读。

2) 连续分布, 包括指数分布、正态分布、对数正态分布、 χ^2 分布、t分布、F分布、 β 分布、Weibull分布、Cauchy分布、Laplace分布和Erlang分布;

3) 正态随机向量, 具吸收壁的一维和二维随机游动, 服从给定转移矩阵的 Markov 链。

每一随机数序列服从既定的分布均有严格的概率论上的证明^[1, 2]。这里注意权衡抽样的效率与误差, 选择较好的抽样算法。

运用随机变量的抽样值还可以构造一类可用解析公式描述的随机过程的样本函数。这种随机过程一般有形式

$$x(t) = g(t; a_1, \dots, a_n), \quad t \in T,$$

其中 a_1, \dots, a_n 是一组随机变量; g 的函数形式是已知的。随机过程 $x(t)$ 的样本函数对一切 $t \in T$, 完全由 n 个随机变量的取值所决定。

二、随机常微分方程解过程的统计分析

DSRS可对系数、非齐次项、初始条件均为随机变量的随机常微分方程的解过程作统计分析。求解时, 每次给出随机参数的抽样值, 运用典型的数值解法如Runge-Kutta算法解微分方程, 可得解过程的一个样本函数。对大量样本函数进行统计整理, 就得出解过程 $x(t)$ 的统计性质, 包括 $x(t)$ 在各个时点上的均值、方差、最大值、最小值、 $x(t)$ 的自相关系数以及 $x(t)$ 与各随机参数的互相关系数。尽管这种方法需要占用较多机时, 但还是目前可行的一种较好方法。

三、随机服务系统仿真

模拟一般的GI/G/n系统, 也就是这样的系统^[3]:

- 1) 顾客到达时刻的间隔是相互独立、相同分布的随机变量;
- 2) 各顾客的服务时间之间以及与到达时刻间隔之间均相互独立, 并且各服务时间均有相同分布;
- 3) 有 n 个并联服务台, 顾客按到达次序接受服务, 排队方法为等待消失制。

除某些特例, 此类系统没有通用的理论计算公式。利用计算机仿真, 可以求得系统在平衡状态下的各项指标, 包括系统平均人数、拒绝服务概率、需要排队概率、忙期平均长度、平均等待队长、平均等待时间、平均逗留时间。运用边际分析法, 还可利用仿真结果求得使系统全部费用(服务成本与等待费用之和)达到最小的最优服务台数 n 。

四、随机型PERT网络的统计模拟计算

计划评审技术(PERT)是系统工程学中应用广泛的一个分支, 是提高工程经济效益的一种有效工具。将数字仿真方法应用于随机型PERT网络, 给出整个工程完工时间的频率分布, 可以为决策提供科学依据。

随机型PERT网络各道工序的完工时间 η 是一个随机变量, 用最乐观时间、最可能时间

和最悲观时间三个参数标定。η 可用β分布描述^[4]。应用舍选抽样法产生满足给定条件的β分布随机数，每次试验分别给出各道工序完工时间的一个现实值，从而获得整个工程完工时间 T_E 的一个抽样值。统计逐次仿真的结果，就可获得 T_E 的频率分布。由经验分布拟合适当的分布密度曲线，可作为理论分布的近似式。

五、离散线性随机控制系统仿真

考虑由随机差分方程

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(t+1) &= \Phi \mathbf{x}(t) + \Gamma \mathbf{u}(t) + \mathbf{v}(t), \\ \mathbf{y}(t) &= \theta \mathbf{x}(t) + \mathbf{e}(t) \end{aligned}$$

规定的离散线性随机控制系统^[5]，取期望损失

$$E\{\mathbf{x}^T(N)Q_0\mathbf{x}(N) + \sum_{t=t_0}^{N-1} (\mathbf{x}^T(t)Q_1\mathbf{x}(t) + \mathbf{u}^T(t)Q_2\mathbf{u}(t))\}$$

作为判别准则。由分离定理，最优控制问题的解由下述控制策略给出：

$$\mathbf{u}(t) = L(t) \hat{\mathbf{x}}(t|t),$$

即为随机线性系统的最佳滤波 $\hat{\mathbf{x}}(t|t)$ 与确定性系统的最佳反馈增益矩阵 $L(t)$ 乘积。仿真程序主要由计算反馈增益矩阵 $L(t)$ ，按Kalman-Bucy递推滤波公式，计算最佳滤波 $\hat{\mathbf{x}}(t|t)$ 和模拟产生状态向量与量测向量三个子程序组成。它可打印输出每一步的控制策略和系统状态。

DSRS子程序库现有三十八个子程序，有待扩充某些随机过程的抽样程序和其它随机系统的仿真程序。在有足够外存容量的条件下，将编制作业管理程序，从而构成一个软件包。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院计算中心概率统计组，概率统计计算，科学出版社，(1979)，357—366。
- [2] 裴鹿成、张孝译，蒙特卡罗方法及其在粒子输运问题中的应用，科学出版社，(1980)，110—118。
- [3] 徐光辉，随机服务系统，科学出版社，(1980)，140—141。
- [4] 骆振华，PERT的随机流量分布，厦门大学学报(自然科学版)，(1981)，第3期。
- [5] [瑞典]K. J. 奥斯特隆姆著，潘裕焕译，随机控制理论导论，科学出版社，(1983)，305—331。

DSRS—A SUBROUTINE LIBRARY FOR DIGITAL SIMULATION OF STOCHASTIC SYSTEMS

Li Mingshi
(Xiamen University)

Abstract

This paper describes the DSRS, a subroutine library for digital simulation of stochastic systems. This library contains some random variable sampling subroutines and is suitable for digital simulation of stochastic differential equations, stochastic service systems, stochastic PERT networks, and stochastic discrete-time linear control systems. Numerical solutions can be obtained by computer simulation of those stochastic systems which are difficult to deal with by analytical method. DSRS is written in FORTRAN-IV and firstly run in a PDP-11/03 microcomputer.

我国仿真组织和活动简况

一、中国自动化学会仿真专业委员会成立于1979年。专业委员会成立以后，先后组织过四届系统仿真学术交流年会、两次专题讨论会和两次学习讨论班（见230页附表）。系统仿真专业委员会是国际仿真数学与仿真计算机联合会的会员单位，与美国仿真协会签有合作协议。它的会刊是“系统仿真”，1985年创刊，每年出版两期。

系统仿真专业委员会挂靠在北京航空学院。

主任：文传源

副主任：王正中 王行仁

秘书：彭晓源

二、国防科工委，科技委军用计算机专业组仿真机分组成立于1983年。分组成立后组织过多次技术交流会和成果审定会。1984年开始发行内部通讯“仿真通讯”。

该分组挂靠在北京信息控制研究所。

组长：王正中

副组长：文传源 何平伟 葛玉信 杨育华

秘书：吴连伟

三、中国计算机用户协会仿真机协会成立于1983年。协会成立后召开过年会，举办了二期仿真机学习班。它的会刊是“计算机仿真”，创刊于1984年，每年出版四期。

仿真机协会挂靠在北京计算机一厂。

理事长：周炎勋

副理事长：沈承林 陈忻然

秘书长：杨廷顺

（吴连伟 彭晓源）