

文章编号: 1008- 9497(2001)06- 0610- 07

离散事件系统多随机顾客流后进先出串并联 多服务台混合排队系统模型的计算机模拟

吴庆标, 施 强

(浙江大学 数学系, 浙江 杭州 310028)

摘 要: 讨论了离散事件系统多随机顾客流后进先出的串并联多服务台混合排队系统模型的计算机模拟, 在串并联多服务台混合情形下建立了 4 类模拟模型, 并给出模拟实验例子.

关 键 词: 排队系统; 随机变量; 后进先出; 模型; 计算机模拟

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A

WU Qing-biao, SHI Qiang (*Department of Mathematics, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China*)

Computer simulation on multiple random current and LIFO multiple service desks mixed queuing system models in discrete event system. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2001, 28(6): 610~ 616

Abstract: The computer simulation on the multiple random current and LIFO multiple service desks mixed queuing system models are discussed. Four simulation models are set up and simulation results are presented.

Key words: queuing system; stochastic variable; LIFO; model; computer simulation

1 引 言

随着计算费用的下降和计算速度的迅速提高, 计算机模拟的发展和普及也很快, 它已从尖端军事技术的应用推广到一般民用技术的应用, 已从自然科学的应用推广到社会科学的应用. 由于要处理的问题日益复杂, 要观测实际系统有时费用太高, 有时则完全不可能, 传统的解析方法和常用数值方法已不能很好处理, 因此自然科学和工程技术工作者经常用计算机模拟来解决一些难题. 它通过建立模拟模型, 在计算机上进行模拟试验, 并用试验结果作为原始问题的近似解, 是系统分析和系统设计的强有力工具. 它可以降低系统的研制成本, 提高系统在实验、调试和训练中的安全性. 具有重大的社会效益和经济效益.

近年来计算机模拟在经济管理和商业策略方面的应用研究也有了很大的发展. 例如经济形势分析、市场预测、产品的生产方针和销售策略等, 这些必须确定, 对决策有直接影响, 而又无法直接通过实验获得的信息, 只有依靠计算机模拟才能解决. 世界上越来越多的商业公司纷纷建立其相应

收稿日期: 2000-04-11

基金项目: 浙江省教委自然科学基金资助项目.

作者简介: 吴庆标(1963-), 男, 博士, 副教授, 主要从事计算机随机模拟, 计算机图形学和应用软件研究.

的公司模型,用于对公司综合经营的模拟分析,评价公司的经营策略,同时为培训公司业务人员提供支持。

离散事件系统的计算机模拟技术主要用于解决复杂系统管理中的决策问题。这里的管理具有广泛的意义,既可以是企业、工厂的计划、调度的销售管理,也可以是导弹防御系统的战场管理,还可以是作战系统的指挥、控制与通信。任何一个复杂系统都由一系列子系统组成,但是在建立大系统的管理决策模型时,其顶层模型一般可以表示为离散事件模型。因此,离散事件系统模型模拟方法在很多领域都得到了广泛的应用。

在我国,离散事件系统模型模拟的工作也开展得比较广泛,主要应用领域有CMS、企业管理系统、物资管理系统、交通运输系统、导弹攻防对抗系统、城市建设规划系统、经济计划系统、农业生产系统、能源开发系统、卫生保健服务系统、控制与通信系统、可靠性系统。

尽管离散事件系统模拟的应用模型种类繁多,但其基本模型可以分为排队系统模型、库存系统模型和网络系统模型三大类,其它模型大多是以这三类模型为基础建立起来的。

排队系统是离散事件系统中最典型的问题,计算机系统、通讯系统和网络管理系统、制造系统、生产系统、服务系统、修理和维护设备、交通运输、物资材料管理系统等都是典型的有形或无形的排队系统。由于排队系统的应用已越来越广泛,排队特征、排队规则、服务机构也变得越来越复杂,用解析方法已无法求解,计算机模拟是求解排队系统和分析排队系统性能的非常有效的方法,文献[1~7]对排队系统的计算机模拟作了专门的讨论,但都针对所有顾客的服务时间是服从同一分布的独立随机变量,并没有考虑服务台因素,文献[8]引入服务台因子,讨论了顾客的服务时间与队长有关的排队系统模拟,文献[9]讨论了多随机顾客流排队系统模型的计算机模拟,但建立的模型都假设系统容量是无限的,也没有考虑系统的损失率。由于系统的容量常常有限,当队长超过某一值时,到达系统的顾客将直接离开,不能进入系统接受任何服务,这实际上造成系统的某些损失。文献[10]讨论了系统容量有限的排队系统模型的计算机模拟,但建立的模型没有考虑多随机流混合服务台情形。文献[11,12]讨论了一类混合服务台排队系统模型的计算机模拟,并没有考虑多随机顾客流且后进先出的串并联多服务台混合的情形。本文讨论了多随机顾客流且后进先出的先有 $U1$ 个服务台并联,然后有 V 个服务台串联,最后有 $U2$ 个服务台并联的串并联混合和先有 $V1$ 个服务台串联,然后有 U 个服务台并联,最后有 $V2$ 个服务台串联的串并联混合多服务台排队系统模型的计算机模拟,这类模型在计算机系统、通讯系统和网络管理系统、制造系统、生产系统、服务系统、修理和维护设备、交通运输、物资材料管理系统及信息管理系统的分析和设计中都有较广泛的应用。如材料管理系统、语言编译中的基本问题表达式计算和过程的嵌套、递归调用中都有重要应用的栈,都是典型的后进先出排队系统。本文最后将给出模拟模型的计算例子。

2 模拟模型的建立

排队系统的主要要素是顾客和服务台,顾客可以是人、机器、车船、呼叫、作业、信息——任何到达一个设备并需要服务的东西。服务台可以是人、车站、港口、码头、商场、修理员、机床、接线员、程控交换机、主机、网络服务器、CPU、文件、打印机、磁盘、磁带。模型中服务台因子 $K(X)$ (其中 X 为当前排队人数)满足:当 X 为1时, $K(X)=1$ (即常规服务),其具体形式由具体问题而确定。

首先针对先有 $U1$ 个服务台并联,然后 V 个服务台串联,最后有 $U2$ 个服务台并联的混合情形建立模型。 s 个随机顾客流的顾客到达系统后,在 $U1$ 个并联服务台前排成一列,等待接受服务后离开,进入后面 V 个串联服务台前排队,在 V 个串联服务台之中的第 i 个服务台接受服务后进入第 $i+1$ 个服务台前再次排队,等待接受服务(其中 $i=1,2,\dots,V-1$),在第 V 个服务台接受服务后离

开,进入到后面的 $U2$ 个并联服务台前排队,等待接受服务,直至离开系统.结构如图 1 所示.

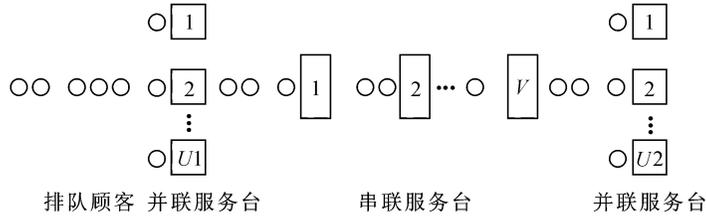


图 1 模型结构图

Fig 1 Model structure fig

建立的模型如下:

模型 1 系统先有 $U1$ 个服务台并联, 然后有 V 个服务台串联, 最后有 $U2$ 个服务台并联, 并且有 S 个随机顾客流到达系统, 第 s 个随机顾客流有 $N_s (s= 1, 2, \dots, S)$ 个顾客到达系统, 在并联服务台前排成一列等待接受服务. 顾客在并联服务台中接受服务后离开, 进入到后面的 V 个串联服务台前排队, 在 V 个串联服务台之中的第 i 个服务台接受服务后进入第 $i+ 1$ 个服务台前再次排队, 等待接受服务(其中 $i= 1, 2, \dots, V- 1$), 直至在第 V 个服务台接受服务后离开, 进入到后面的 $U2$ 个服务台前排队, 等待接受服务, 直至离开系统. 第 s 个顾客流的顾客到达系统的时间间隔服从第 s 个概率分布的独立随机变量, 排队规则为后进先出, 顾客在 $U1$ 个并联服务台前的服务时间为服从某一概率分布的独立随机变量与 $K_{1j}(X) (j= 1, 2, \dots, U1)$ 的乘积, 顾客在 $U2$ 个并联服务台前的服务时间为服从某一概率分布的独立随机变量与 $K_{2j}(X) (j= 1, 2, \dots, U2)$ 的乘积, 在 V 个串联服务台之中的第 i 个服务台前的服务时间为服从某一概率分布的独立随机变量与 $K_i(X_i) (i= 1, 2, \dots, V)$ 的乘积. 估计顾客平均排队时间、平均排队顾客数和服务台利用率.

模型 2 系统为时间从 $T0$ 至 $T0+ T$ 之间的过程, 串并联混合服务台构造也是先有 $U1$ 个服务台并联, 然后有 V 个服务台串联, 最后 $U2$ 个服务台并联, 并且有 S 个随机顾客流到达系统的顾客在并联服务台前排成一列等待接受服务. 顾客在并联服务台中接受服务后离开, 进入到后面的 V 个串联服务台前排队, 在 V 个串联服务台之中的第 i 个服务台接受服务后进入第 $i+ 1$ 个服务台前再次排队, 等待接受服务(其中 $i= 1, 2, \dots, V- 1$), 直至在第 V 个服务台接受服务后离开, 进入到后面的 $U2$ 个服务台前排队, 等待接受服务, 直至离开系统. 顾客到达系统的时间间隔、排队规则、服务时间都与模型 1 描述相同, 估计顾客平均排队时间、平均排队顾客数、服务台利用率.

下面讨论先有 $V1$ 个服务台串联, 然后有 U 个服务台并联, 最后有 $V2$ 个服务台串联的混合情形, 结构如图 2 所示.

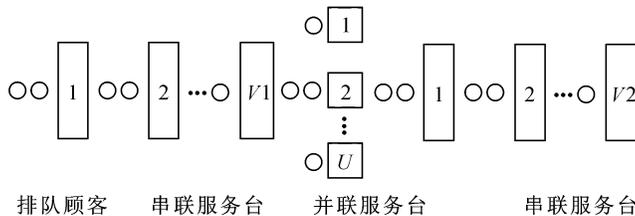


图 2 模型结构图

Fig 2 Model structure fig

模型 3 系统先有 $V1$ 个服务台串联, 然后有 U 个服务台并联, 最后有 $V2$ 个服务台串联的混合情形, 并且有 S 个随机顾客流到达系统, 第 s 个随机顾客流有 $N_s (s= 1, 2, \dots, S)$ 个顾客到达系统, 在串联服务台前排成一列等待接受服务. 顾客在 $V1$ 个串联服务台之中的第 i 个服务台接受服务

后进入第 $i+1$ 个服务台前再次排队, 等待接受服务 (其中 $i=1, 2, \dots, V-1$), 直至在第 $V-1$ 个服务台接受服务后离开, 进入到后面的 U 个并联服务台前排队, 等待接受服务后, 进入后一串联服务台接受服务. 在 $V-2$ 个串联服务台之中的第 i 个服务台接受服务后进入第 $i+1$ 个服务台前再次排队, 等待接受服务 (其中 $i=1, 2, \dots, V-2$), 直至在第 $V-2$ 个服务台接受服务后离开系统. 第 s 个顾客流的顾客到达系统的时间间隔服从第 s 个概率分布的独立随机变量, 排队规则为后进先出, 顾客在 $V-1$ 个串联服务台之中的第 i 个服务台前的服务时间为服从某一概率分布的独立随机变量与 $K_{1i}(X_i)$ ($i=1, 2, \dots, V-1$) 的乘积, 在 $V-2$ 个串联服务台之中的第 i 个服务台前的服务时间为服从某一概率分布的独立随机变量与 $K_{2i}(X_i)$ ($i=1, 2, \dots, V-2$) 的乘积, 在并联服务台前的服务时间为服从某一概率分布的独立随机变量与 $K_j(x)$ ($j=1, 2, \dots, U$) 的乘积. 估计顾客平均排队时间、平均排队顾客数和服务台利用率.

模型 4 系统为时间从 T_0 至 T_0+T 之间的过程, 串并联混合服务台构造也是先有 $V-1$ 个服务台串联, 然后有 U 个服务台并联, 最后有 $V-2$ 个服务台串联的混合情形, 并且有 S 个随机顾客流到达系统的顾客在 $V-1$ 个串联服务台前排成一列, 等待接受服务后离开, 进入到后面的 U 个并联服务台前排队, 等待接受服务后, 进入后一 $V-2$ 个串联服务台接受服务, 直至在第 $V-2$ 个服务台接受服务后离开系统. 顾客到达系统的时间间隔、排队规则、服务时间、都与模型 3 描述相同, 估计顾客平均排队时间、平均排队顾客数、服务台利用率.

3 模拟模型求解方法

模拟模型的求解采用下次事件时间推进方法, 通过时间进程的模拟, 确定下次事件的发生 (如到达、离开), 更新系统状态. 下次事件时间推进方法的模拟如图 3.

4 模拟例子

为了讨论方便, 假设如下: 模型 1, 2 为先有 3 个服务台并联, 然后 3 个服务台串联, 最后有 2 个服务台并联. 模型 3, 4 为先有 3 个服务台串联, 然后有 3 个服务台并联, 最后有 2 个服务台串联的混合情形, 随机顾客流为 6 个, 第 s 个随机顾客流的顾客到达系统时间间隔为服从均值为 λ_s 的指数分布独立随机变量, 服务台因子为线性函数, 串联服务台因子为

$$W_i(X_i) = (A_i - 1)(X_i - 1) / (H_i - 1) + 1,$$

其中, H_i, A_i 为参数, 模拟时输入, 且 $H_i, A_i > 0$. 若 A_i 大于 1 时, 则排队人数越多, 服务台工作效率越低; 若 A_i 小于 1 时, 则排队人数越多, 服务台工作效率越高, 若 A_i 等于 1 时, $W_i(X_i)$ 恒等于 1, 常规服务. 其中 $i=1, 2, 3$.

第 1 组并联服务台因子为

$$W_{1j}(X) = (B_{1j} - 1)(X - 1) / (H - 1) + 1, \quad j=1, 2, 3$$

第 2 组并联服务台因子为

$$W_{2j}(X) = (B_{2j} - 1)(X - 1) / (H - 1) + 1, \quad j=1, 2.$$

顾客的服务时间为在串联服务台情形服从均值为 Y_i 的指数分布独立随机变量与 $W_i(X_i)$ 的乘积 ($i=1, 2, 3$), 第 1 组并联情形分别为服从均值为 μ_{1j} ($j=1, 2, 3$) 的指数分布独立随机变量与 $W_{1j}(X)$ 的

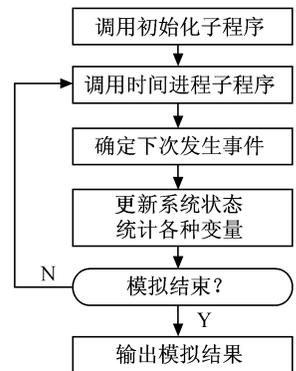


图 3 模拟结构图

Fig 3 Simulation structure fig

乘积;第 2 组并联情形分别为服从均值为 $\mu_{2j}(j=1,2)$ 的指数分布独立随机变量与 $W_{2j}(X)$ 的乘积;并联情形常常是 $\mu_{11}=\mu_{12}=\mu_{13},\mu_{21}=\mu_{22}$. 伪随机数产生采用混合线性同余法.

模型 3,4 为先有 3 个服务台串联,然后有 3 个服务台并联,最后有 2 个服务台串联的混合情形,随机顾客流的顾客到达系统时间间隔为服从均值为 λ 的指数分布独立随机变量,服务台因子为线性函数,并联服务台因子为

$$W_j(X) = (B_j - 1)(X - 1)/(H - 1) + 1,$$

其中, H, B_j 为参数,模拟时输入,且 $H, B_j > 0$. 若 B_j 大于 1 时,则排队人数越多,服务台工作效率越低;若 B_j 小于 1 时,则排队人数越多,服务台工作效率越高;若 B_j 等于 1 时, $W_j(X)$ 恒等于 1, 常规服务. 其中 $j=1,2,3$.

第 1 组串联服务台因子为

$$W_{1i}(X_i) = (A_{1i} - 1)(X_i - 1)/(H_{1i} - 1) + 1, \quad i=1,2,3.$$

第 2 组串联服务台因子为

$$W_{2i}(X_i) = (A_{2i} - 1)(X_i - 1)/(H_{2i} - 1) + 1, \quad i=1,2.$$

顾客的服务时间为在并联服务台情形服从均值为 μ 是 j 的指数分布独立随机变量与 $W_j(X)$ 的乘积 ($j=1,2,3$);第 1 组串联情形分别为服从均值为 $Y_{1i}(i=1,2,3)$ 的指数分布独立随机变量与 $W_{1i}(X_i)$ 的乘积;第 2 组并联情形分别为服从均值为 $Y_{2i}(i=1,2)$ 的指数分布独立随机变量与 $W_{2i}(X)$ 的乘积;并联情形常常是 $\mu_1=\mu_2=\mu_3$. 伪随机数产生采用混合线性同余法.

模型 1 的主程序框图如图 4,其它框图从略. 输入参数和模拟模型输出结果如表 1 和表 2. 其

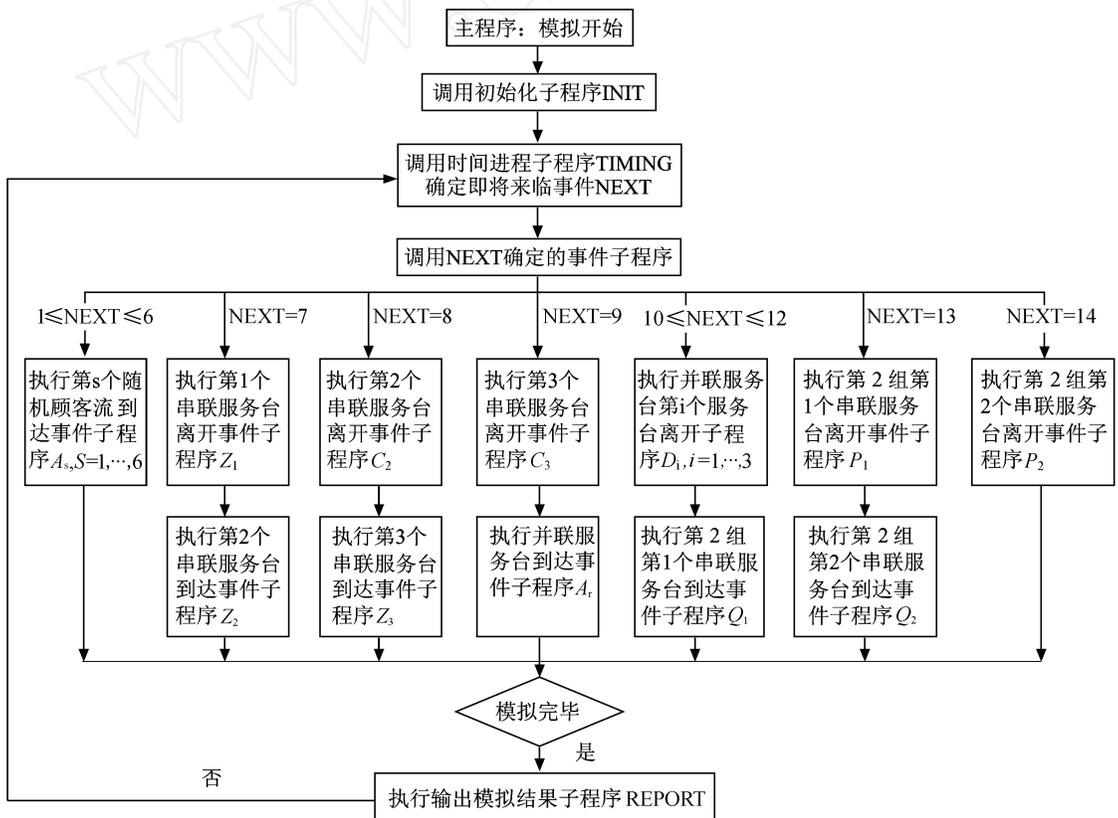


图 4 串并联混合服务台模型模拟主程序框图

Fig. 4 The mixed service desks model simulation procedure fig

中 d, q, p 分别为平均排队时间、平均排队顾客数和服务台利用率, T 为模拟总长, N 为服务台服务总人数, 下标代表服务台标号, 符号前加 s 代表串联, 符号前加 d 代表后一并联或串联。

表 1 模型输入参数表

Table 1 The input parameter table on the models

模型输入参数																			
模型号	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	T	μ_{11}	μ_{12}	μ_{13}	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}
1	1.67	1.68	1.69	1.72	1.73	1.76	1200	1100	1100	1100	1000	1000		1.28	1.30	1.31	1.08	1.10	1.14
2	1.67	1.68	1.69	1.72	1.73	1.76							6900	1.28	1.30	1.31	1.08	1.10	1.14
3	1.41	1.42	1.44	1.45	1.47	1.49	1200	1100	1100	1100	1000	1000		1.36	1.37	1.39	1.11	1.12	1.16
4	1.41	1.42	1.44	1.45	1.47	1.49							7200	1.36	1.37	1.39	1.11	1.12	1.16

模型输入参数																				
模型号	μ_{21}	μ_{22}	Y_{21}	Y_{22}	H	H_{11}	H_{12}	H_{13}	H_{21}	H_{22}	B_{11}	B_{12}	B_{13}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	B_{21}	B_{22}	A_{21}	A_{22}
1	1.41	1.42			12	15	16	18			0.1	0.2	0.5	0.1	0.6	0.9	0.4	0.8		
2	1.41	1.42			12	15	16	18			0.1	0.2	0.5	0.1	0.6	0.9	0.4	0.8		
3			0.83	0.85	15	14	16	17	15	18	0.4	0.7	0.9	0.1	0.7	0.9			0.3	0.7
4			0.83	0.85	15	14	16	17	15	18	0.4	0.7	0.9	0.1	0.7	0.9			0.3	0.7

表 2 模拟输出结果表

Table 2 The simulation output result table

模拟输出结果																			
模型号	d	q	p_1	p_2	p_3	N_1	N_2	N_3	sd_1	sq_1	sp_1	sN_1	sd_2	sq_2	sp_2	sN_2	sd_3	sq_3	sp_3
1	5.12	8.25	1.0	1.0	1.0	2172	2168	2160	5.54	7.98	1.0	6500	5.83	8.69	1.0	6500	6.02	8.84	1.0
2	5.11	8.25	1.0	1.0	1.0	2184	2179	2171	5.55	7.97	1.0	6534	5.84	8.68	1.0	6534	6.03	8.85	1.0
3	5.71	9.06	1.0	1.0	1.0	2169	2167	2164	6.46	8.51	1.0	6500	6.43	8.87	1.0	6500	6.39	8.96	1.0
4	5.72	9.06	1.0	1.0	1.0	2177	2174	2171	6.47	8.52	1.0	6522	6.43	8.87	1.0	6522	6.38	8.95	1.0

模拟输出结果																	
模型号	sN_3	dd	dq	dp_1	dp_2	dN_1	dN_2	dsd_1	dsq_1	dsp_1	dsN_1	dsd_2	dsq_2	dsp_2	dsN_2	T	
1	6500	4.70	7.63	1.0	1.0	3252	3248									6859	
2	6534	4.71	7.63	1.0	1.0	3268	3266									6900	
3	6500							5.97	7.48	1.0	6500	6.41	8.57	1.0	6500	7167	
4	6522							5.96	7.48	1.0	6522	6.42	8.58	1.0	6522	7200	

5 结 论

排队系统模型应用广泛, 但复杂的排队系统模型解析求解和其它数值方法求解却十分困难, 而且常常不可能, 本文所建立的离散事件系统的一类多随机顾客流且后进先出的串并联多服务台混合排队系统模型的计算机模拟模型, 在引入服务台因子后, 解析求解和其它数值方法却更加困难, 而采用计算机模拟方法取得了很好的效果, 而且模拟程序具有一定的通用性。

参考文献:

- [1] Thomas Kampke Multiple use of random number in discrete event simulation [J]. Mathematics and Computer in Simulation, 1989, 31: 171- 176
- [2] Jerry Banks, Jhon Carson. Discrete-event system simulation[M]. New Jersey: Englewood, 1984
- [3] 方再根 计算机模拟和蒙特卡洛方法[M]. 北京: 北京工业学院出版社, 1990
FANG Zai-gen. Computer simulation and the Monte Carlo methods[M]. Beijing: Beijing Industry Institute Press, 1990
- [4] 吴新瞻, 吴新恒 随机模型与计算机模拟[M]. 北京: 电子工业出版社, 1990
WU Xin-zhan, WU Xin-heng. The random models and computer simulation[M]. Beijing: Electron Industry Press, 1990
- [5] 徐光 计算机模拟与信息技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997
XU Guang. Computer simulation and information technology[M]. Beijing: Defence Industry Press, 1997
- [6] 王维平, 朱一凡 离散事件系统建模与仿真[M]. 北京: 国防科技大学出版社, 1997
WANG Weiping, ZHU Yifan. Discrete event system models and computer simulation [M]. Beijing: Defence Science and Technology University Press, 1997
- [7] 王惠刚 计算机仿真原理及应用[M]. 北京: 国防科技大学出版社, 1994
WANG Hei-gang. Computer simulation and application [M]. Beijing: Defence Science and Technology University Press, 1994
- [8] 吴庆标 一类排队系统模型的计算机模拟[J]. 计算机应用与软件, 1993, 10(6): 35- 38
WU Qing-biao. Computer simulation on a type of queuing system model[J]. Computer Application and Software, 1993, 10(6): 35- 38
- [9] 吴庆标 一类多随机顾客流排队系统模型的计算机模拟[J]. 计算机应用与软件, 1996, 13(1): 12- 16
WU Qing-biao. Computer simulation on a type of queuing system model with the random multi-current of customer[J]. Computer Application and Software, 1996, 13(1): 12- 16
- [10] 吴庆标 系统容量有限的一类排队系统模型的计算机模拟[J]. 计算机工程与应用, 1995, 31(6): 49- 52
WU Qing-biao. Computer simulation on a type of queuing system model of limited system capacity [J]. Computer Engineering and Application, 1995, 31(6): 49- 52
- [11] 吴庆标 一类混合服务台排队系统模型的计算机模拟[J]. 计算机应用研究, 1998, 15(3): 88- 90
WU Qing-biao. Computer simulation on a type of service mixed queuing system model[J]. Application Research of Computer, 1998, 15(3): 88- 90
- [12] 吴庆标 多随机流的一类混合排队系统模型的计算机模拟研究[J]. 计算机工程与应用, 1997, 33(5): 33- 36
WU Qing-biao. Computer simulation on a type of mixed service desk queuing system model for multiple random current[J]. Computer Engineering and Application, 1997, 33(5): 33- 36

(责任编辑 寿彩丽)