

基于非对称具有优先级的一类逻辑环随机模型

王思明, 何春燕

(广州暨南大学电子信息工程系, 广东广州 510632)

摘要: 讨论一种具有广泛性和代表性的带有优先级的逻辑环随机服务系统: 非对称型、队列容量有限、服务上额受限. 主要内容有: 系统运行特点; 队列状态转移特性; 队列状态转移概率近似算法; 队列状态概率非常规算法等. 文中提出状态条件转移和状态转移组合等新概念; 以及集中参数替代分布参数和反求等方法.

关键词: 逻辑环; 状态条件转移; 状态转移组合; 马尔可夫链

中图分类号: TP393; O226 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2001)11-1564-04

A Classic of Logical Ring Random Model with Priority Based on Asymmetry

WANG Si ming, HE Chun yan

(Dept. of Electrical & Information Engineering, Jinnan University, Guangzhou, Guangdong 510632, China)

Abstract: A comprehensive and representative logical ring random service system with priority is discussed. It is asymmetric and the queue length and the upper limit of the service are all finite. The main contents include: the performance feature of the system; the transition characteristics of the queue states; the approximate algorithm of the transition probability of the queue states; the unconventional algorithm of the state probabilities of the queues etc. New concepts such as the state conditional transition and the state transition combination, and the methods of substituting the distribution parameters by the lumped ones are proposed in the paper.

Key words: logical ring; state conditinal transition; state transition combination; Markov Chain

1 引言

在计算机及其网络、测控系统中, 广泛存在着逻辑环(含物理环和非物理环)随机模型. 其中带有优先级的逻辑环是一种典型. 我们注意到随机服务系统理论的有关著作中, 讨论了一般带有优先级的排队系统, 如文[1~4], 模型特点为由若干队列组成单一优先序列以及队列容量无限; 有关文献[5~9]等, 探讨了带有优先级的逻辑环随机模型, 每个站点设有优先级不同的若干队列, 由广义服务员依序循环到各个站点服务. 为了便于数学建模, 这些文章在一定程度上, 将系统理想化, 大多设定系统为对称型(即各个站点参数均相同), 并且假设队列容量无限; 或者上述两者居其一. 众所周知, 实际系统是非对称型的, 求解各站点、各队列工作特性参数, 不能象对称型那样以一代全; 队列容量有限, 因而队列状态有限, 并存在溢出损失等. 以往采用的积分变换和状态概率母函数等方法分析和建模, 此时不再完全适用.

本文借助马尔可夫链理论、集中参数替代分布参数近似法和反求法等, 建立基于非对称、带有优先级、队列容量有限、每次服务数量上额限制的逻辑环随机模型. 因篇幅所限, 略去部分具体数学表达式, 仅阐述其建模思路.

2 系统模型条件与有关参量变量符号

系统模型条件设定为:

- (1) 站点数为 $N (2 \leq N < \infty)$, 站点 i 记为 $A^{(i)} (i = 1, 2, \dots, N)$;
- (2) 每个站点设有 K (有限) 个优先级别队列, 其中 $B_j^{(i)}$ 为 $A^{(i)}$ 的优先级别最高者, $B_k^{(i)}$ 为 $A^{(i)}$ 最低者;
- (3) “服务员”抵站后, 可为该站服务 $1 \sim M (M > 1)$ 个对象(数据包等). 如 $B_j^{(i)}$ 不足 M 个, 由后续优先级依序填补; 如 K 个队列均无对象, “服务员”随即离去到下一站点;
- (4) 实施门限服务方式, 即服务期间到达者, 不参与本次服务;
- (5) 各队列的对象到达为独立的 Poisson 流, $A^{(i)}$ 各队列到达率与 $B_j^{(i)}$ 到达率比值 $\lambda_j^{(i)} / \lambda_i^{(i)} (j = 1, 2, \dots, K)$ 已知, 并且 $\lambda_j^{(i)} > 0$;
- (6) 各队列容量为 C , 且 $C \geq M$;
- (7) $B_j^{(i)}$ 的对象服务时间 $t_{js}^{(i)}$ 、“服务员”从第 $i-1$ 站至第 i 站的行走(切换)时间, 为随机变量, 其分布函数和均值已知.

队列依据在列对象的多少来区别其状态不同, 相对而言, 少时称低态, 多时称高态. 在 $A^{(i)}$ 中, 对 $B_j^{(i)}$ 而言, $B_1^{(i)} \sim B_{j-1}^{(i)}$ 为高优先者, $B_{j+1}^{(i)} \sim B_k^{(i)}$ 为非优先者.

有关参量和变量说明:

t_c : 系统工作周期(简称周期), 其均值用 T_c 表示.

$\pi_{j,m}^{(i)}$: $B_j^{(i)}$ 的状态概率, 即“服务员”抵达 $A^{(i)}$ 时, $B_j^{(i)}$ 有 m ($m = 0, 1, 2, \dots, C$) 个对象的概率.

$P_{j,m,n}^{(i)}$: $B_j^{(i)}$ 的状态周期转移概率, 即 $B_j^{(i)}$ 在周期中, 从 m 态转为 n ($n = 0, 1, 2, \dots, C$) 态的概率.

$IP_j^{(i)}$: $B_j^{(i)}$ 的状态周期转移概率矩阵.

$p_{j,k}^{(i)}(T_c)$: $B_j^{(i)}$ 在 T_c 中到达 k 个对象的概率.

$Q_s^{(i)}, \beta^{(i)}$: “服务员”抵达 $A^{(i)}$, 服务、服务 β ($\beta = 0, 1, 2, \dots, M$) 个对象的概率.

$R_{j_s}^{(i)}, R_{j_s}^{(i)}$: “服务员”抵达 $A^{(i)}$, 对 $B_j^{(i)}$ 服务、服务 α_j ($\alpha_j = 0, 1, 2, \dots, M$) 个对象的概率.

$D^{(i)}, D_j^{(i)}$: “服务员”抵达 $A^{(i)}$ 时, 为该站、为 $B_j^{(i)}$ 服务的对象数均值.

$r^{(i)}, r_j^{(i)}$: $A^{(i)}, B_j^{(i)}$ 的溢出损失率.

3 系统与站点队列排队模型和运行特点

系统和站点队列的排队服务模型分别如图 1、2 所示.

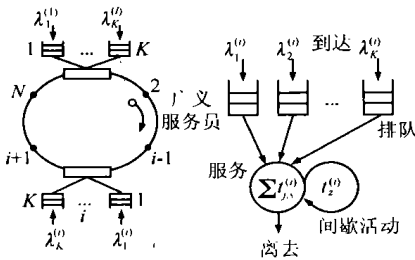


图 1 系统排队服务模型

系统运行有如下特点:

(1) 整个系统由 N 个相对独立又彼此联系的站点结合而成; 每个站点由对象到达独立、优先级不同的 K 个队列组合, 系统 $N \times K$ 个队列共享一个“服务员”.

(2) “服务员”对站点实施间歇式服务, $A^{(i)}$ 的重访时间 $t_z^{(i)}$ 长短与其它站点队列的状态有关.

(3) 站点的 K 个队列的状态, 在周期中形式上各自发生变化, 但在实际运行中, 低优先者的状态变化与高优先者的状态有关, 因为只能在高优先者服务 $0 \sim M - 1$ 个对象的前提下, 低优先者才能获得服务机会; 而且所有队列状态变化与 t_c 长短等因素相关, 所以 $N \times K$ 个队列的状态是相互影响的.

(4) “服务员”抵达 $A^{(i)}$ 时, 易理解有

$$\sum_{q=0}^M R_q^{(i)} = 1, R_{j_s}^{(i)} = \sum_{q=1}^M R_q^{(i)}, \sum_{\beta=0}^M Q_\beta^{(i)} = 1,$$

$$Q_s^{(i)} = \sum_{\beta=0}^M Q_\beta^{(i)} = \sum_{j=1}^K R_{j_s}^{(i)} = \sum_{j=1}^K \sum_{q=1}^M R_q^{(i)}$$

(5) 在周期中, 有

$$D_j^{(i)} = \sum_{q=1}^M \alpha_q R_q^{(i)}, D_j^{(i)} = \sum_{\beta=1}^M \beta Q_\beta^{(i)} = \sum_{j=1}^K \sum_{q=1}^M \alpha_q R_q^{(i)}$$

(6) 平稳状态下, $\pi_{j,m}^{(i)}$ 大小与“服务员”抵达 $A^{(i)}$ 的次数无关.

4 队列的状态周期转移及其概率近似计算

图 3 显示 $B_1^{(i)}$ 的状态周期转移, 此队列的状态转移, 不受本站点其它队列的状态的直接影响.

图 4 的 (a) 和 (b) 分别显示 $B_j^{(2)} (2 \leq j \leq K)$ 高优先者满服务时和高优先者未服务时的两种状态周期转移.

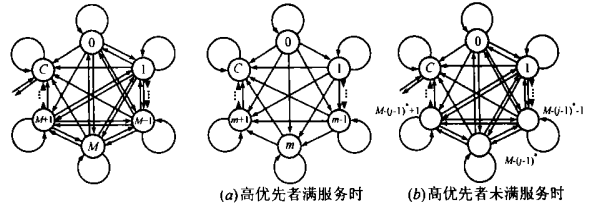


图 3 $B_1^{(i)}$ 状态周期转移 图 4 $B_j^{(i)} (2 \leq j \leq k)$ 状态周期转移图

如前所述, 由于低优先队列状态转移有赖于高优先者的状态, 所以此类转移是条件转移, 其特征是:

(1) 所有队列的各状态均可自返转移:

① 本队列处于 $0 \sim C - 1$ 态且不服务, 在周期中无新到达者;

② 本队列接受服务数不大于 M , 在周期中新到达数等于服务数;

③ 队列处于 C 态, 当此队列不服务时, 无论有到达(到达数任意)或者无到达; 当此队列服务时, 新到达数等于或大于服务数.

(2) 由于在周期中, 本队列可能有若干新到达者, 所以低态可以转向任意高态.

(3) 由于站点每次服务数额受限, 所以队列在接受服务时, 该队列的高态只能转向差数为服务限制数的低态, 而不能超越转往更低态.

根据队列的状态周期转移图和转移特征分析, 可以求出状态周期转移概率的 $(C + 1) \times (C + 1)$ 矩阵. $B_j^{(i)}$ 的矩阵为 $IP_j^{(i)}$; 在高优先者满服务(即服务数之和为 M) 时, $B_j^{(i)}$ 的矩阵用 $IP_j^{(i)}|_M$ 表示, 其状态只升不降, 或保持. 在高优先者服务总数未达 M 个时, $B_j^{(i)}$ 的转移矩阵较为特殊, 用 $IP_j^{(i)}|_{(j-1)^*}$ 表示, 符号 $(j - 1)^*$ 表示本站 $B_1^{(i)} \sim B_{j-1}^{(i)}$ 的服务总数, 即 $(j - 1)^* = \sum_{u=1}^{j-1} \alpha_u$.

$IP_1^{(i)}, IP_j^{(i)}|_M$ 和 $IP_j^{(i)}|_{(j-1)^*}$ 分别对应图 3、图 4 (a) 和图 4 (b); 由于 $0 \leq (j - 1)^* \leq M - 1$, 所以 $IP_j^{(i)}|_{(j-1)^*}$ 共有 M 种情况. 故非最高优先列 $B_j^{(i)}$ 的状态周期转移概率矩阵的组合为

$$IP_j^{(i)} = \begin{bmatrix} \sum_{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_{j-1} = 0} R_{\alpha_1}^{(1)} R_{\alpha_2}^{(2)} \dots R_{\alpha_{j-1}}^{(j-1)} \end{bmatrix} IP_j^{(i)}|_{0^*} + IP_j^{(i)}|_{1^*} + \begin{bmatrix} \sum_{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_{j-1} = 2} R_{\alpha_1}^{(1)} R_{\alpha_2}^{(2)} \dots R_{\alpha_{j-1}}^{(j-1)} \end{bmatrix} IP_j^{(i)}|_{2^*} + \dots + \begin{bmatrix} \sum_{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_{j-1} = M-1} R_{\alpha_1}^{(1)} R_{\alpha_2}^{(2)} \dots R_{\alpha_{j-1}}^{(j-1)} \end{bmatrix} IP_j^{(i)}|_{M-1^*}$$

$$+ \left[\sum_{\alpha_1+\alpha_2+\dots+\alpha_{j-1}=M} R_{\alpha_1}^{(1)} R_{\alpha_2}^{(2)} \dots R_{\alpha_{j-1}}^{(j-1)} \right] \mathbf{I} P_j^{(i)} | M, \quad j = 2, 3, \dots, K \quad (1)$$

上式中, 当 $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_{j-2} = \alpha, \alpha = 0, 1, 2, \dots, M$ 时,

$$R_{\alpha_{j-1}}^{(i)} | \alpha_{j-1} = \alpha = \left[\sum_{\alpha_1+\alpha_2+\dots+\alpha_{j-1}=\alpha} R_{\alpha_1}^{(i)} R_{\alpha_2}^{(i)} \dots R_{\alpha_{j-1}}^{(i)} \right] \times \sum_{m=\alpha}^C \pi_{j-1,m}^{(i)}, \quad \alpha \leq \alpha \quad (2)$$

此外, 式(1)中各 $R_{\alpha_j}^{(i)}$ 的计算如下:

$B_2^{(i)}$ 在 $B_1^{(i)}$ 满服务时, 其转移出现的概率为

$$R_{\alpha_1}^{(i)} | \alpha_1 = M = \sum_{m=M}^C \pi_{1,m}^{(i)} \quad (3)$$

$B_2^{(i)}$ 在 $B_1^{(i)}$ 不服务或服务未满足 M 个时, 出现 M 种不同情况的概率为

$$R_{\alpha_1}^{(i)} = \pi_{i,m}^{(i)}, \quad \alpha_1 = m \quad (4)$$

上式中 $m = 0, 1, 2, \dots, M-1$.

$B_3^{(i)}$ 在 $B_1^{(i)}$ 和 $B_2^{(i)}$ 满服务时, 其转移出现的概率为

$\sum_{\alpha_1+\alpha_2=M} R_{\alpha_1}^{(i)} R_{\alpha_2}^{(i)}$, 其中

$$R_{\alpha_2}^{(i)} | \alpha_2 = \alpha = R_{\alpha_1}^{(i)} | \alpha_1 = M - \alpha \sum_{m=\alpha}^C \pi_{2,m}^{(i)} \quad (5)$$

$B_3^{(i)}$ 在 $B_1^{(i)}$ 和 $B_2^{(i)}$ 均不服务或服务之和未满足 M 时, 出现 M 种不同情况的概率为 $\sum_{\alpha_1+\alpha_2=\alpha} R_{\alpha_1}^{(i)} R_{\alpha_2}^{(i)}, \alpha = 0, 1, 2, \dots, M-1$.

上式中 $R_{\alpha_2}^{(i)} | \alpha_2 = \alpha = R_{\alpha_1}^{(i)} | \alpha_1 = \alpha - a \sum_{m=\alpha}^C \pi_{2,m}^{(i)} \quad (6)$

其它 $R_{\alpha_j}^{(i)}$ 类推.

t_c 为多个随机变量之和的随机变量, 难以直接计算队列在 t_c 中到达 k 个对象的概率, 现用集中参数 T_c 替代分布参数 t_c 进行近似计算, 并依模型条件(5), 对于 $R_j^{(i)}$ 在 T_c 中有

$$P_{j,k}^{(i)}(T_c) = \frac{(\lambda_j^{(i)} T_c)^k}{k!} e^{-\lambda_j^{(i)} T_c} \quad (7)$$

按照队列状态周期转移特征, 可写出 $B_j^{(i)}$ 在 m, n 与 M 的关系不同时的 $P_{1,m,n}^{(i)}$ 表达式.

对于 $B_j^{(i)} (2 \leq j \leq K)$, 还要区分 $(j-1)^* = M, 1 \leq (j-1)^* < M$ 和 $(j-1)^* = 0$ 三种情况, 分别写出 $P_{j,m,n}^{(i)}$ 表达式.

5 站点队列状态方程

根据马尔可夫链理论和本系统的队列周期转移, 当 $\lambda_j^{(i)} > 0$ 时, 由于各队列状态为正常返, 且构成的马氏链是齐次、不可约和非周期的, 因此为平稳分布, 有

$$\sum_{n=0}^C \pi_{j,n}^{(i)} = 1 \quad (8)$$

$$\pi_{j,n}^{(i)} = \sum_{m=0}^C \pi_{j,m}^{(i)} P_{j,m,n}^{(i)} \quad (9)$$

对于 $B_1^{(i)}$, 用相关的 $P_{j,k}^{(i)}(T_c)$ 代入 $P_{1,m,n}^{(i)}$ 联立方程(9)的具体表达如下:

$$\begin{cases} \pi_{1,0}^{(i)} = \left(\sum_{m=0}^M \pi_{1,m}^{(i)} \right) p_{1,0}^{(i)}(T_c), \\ \pi_{1,n}^{(i)} = \left(\sum_{m=0}^M \pi_{1,m}^{(i)} \right) p_{1,n}^{(i)}(T_c) + \sum_{m=M+1}^{M+n} \pi_{1,m}^{(i)} p_{1,M+n-m}^{(i)}(T_c), \\ M+n \leq C, 1 \leq n < C, \\ \pi_{1,C}^{(i)} = \left(\sum_{m=0}^M \pi_{1,m}^{(i)} \right) \sum_{k=C}^{\infty} p_{1,k}^{(i)}(T_c) + \sum_{m=M+1}^C \pi_{1,m}^{(i)} \sum_{k=C-m}^{\infty} p_{1,k}^{(i)}(T_c) \end{cases} \quad (10)$$

对于 $B_j^{(i)} (2 \leq j \leq K)$, 队列状态概率分三种情况:

(a) 在 $(j-1)^* = M$ 时,

$$\begin{cases} \pi_{j,0}^{(i)} | M = \pi_{j,0}^{(i)}(T_c), \\ \pi_{j,n}^{(i)} | M = \sum_{m=0}^n \pi_{j,m}^{(i)} p_{j,n-m}^{(i)}(T_c), 1 \leq n < C \\ \pi_{j,C}^{(i)} | M = \sum_{m=0}^C \pi_{j,m}^{(i)} \sum_{k=C-m}^{\infty} p_{j,k}^{(i)}(T_c). \end{cases} \quad (11)$$

(b) 在 $1 \leq (j-1)^* \leq M-1$ 时 (共有 $M-1$ 个联立方程)

$$\begin{cases} \pi_{j,0}^{(i)} | (j-1)^* = \left(\sum_{m=0}^{M-(j-1)^*} \pi_{j,m}^{(i)} \right) p_{j,0}^{(i)}(T_c), \\ \pi_{j,n}^{(i)} | (j-1)^* = \left(\sum_{m=0}^{M-(j-1)^*} \pi_{j,m}^{(i)} \right) p_{j,n}^{(i)}(T_c) \\ + \sum_{m=M-(j-1)^*+1}^{M-(j-1)^*+n} \pi_{j,m}^{(i)} p_{j,M-(j-1)^*+n-m}^{(i)}(T_c), \\ \pi_{j,C}^{(i)} | (j-1)^* = \left(\sum_{m=0}^{M-(j-1)^*} \pi_{j,m}^{(i)} \right) \sum_{k=C}^{\infty} p_{j,k}^{(i)}(T_c) \\ + \sum_{m=M-(j-1)^*+1}^C \pi_{j,m}^{(i)} \sum_{k=C-m}^{\infty} p_{j,k}^{(i)}(T_c) \end{cases} \quad (12)$$

(c) 在 $(j-1)^* = 0$ 时, 方程形式类同式(10) (略).

因此, $B_j^{(i)} (2 \leq j \leq K)$ 状态概率方程是上述 (a)、(b) 和

(c) 的组合, 即

$$\begin{cases} \pi_{j,0}^{(i)} = \left[\sum_{\alpha_1+\alpha_2+\dots+\alpha_{j-1}=0} R_{\alpha_1}^{(i)} R_{\alpha_2}^{(i)} \dots R_{\alpha_{j-1}}^{(i)} \right] \pi_{j,0}^{(i)} | 0 \\ + \sum_{(j-1)^*=1}^{M-1} \left[\sum_{\alpha_1+\alpha_2+\dots+\alpha_{j-1}=(j-1)^*} R_{\alpha_1}^{(i)} R_{\alpha_2}^{(i)} \dots R_{\alpha_{j-1}}^{(i)} \right] \pi_{j,0}^{(i)} | (j-1)^* \\ + \left[\sum_{\alpha_1+\alpha_2+\dots+\alpha_{j-1}=M} R_{\alpha_1}^{(i)} R_{\alpha_2}^{(i)} \dots R_{\alpha_{j-1}}^{(i)} \right] \pi_{j,0}^{(i)} | M \\ \pi_{j,n}^{(i)} = \left[\sum_{\alpha_1+\alpha_2+\dots+\alpha_{j-1}=0} R_{\alpha_1}^{(i)} R_{\alpha_2}^{(i)} \dots R_{\alpha_{j-1}}^{(i)} \right] \pi_{j,n}^{(i)} | 0 + \\ \sum_{(j-1)^*=1}^{M-1} \left[\sum_{\alpha_1+\alpha_2+\dots+\alpha_{j-1}=(j-1)^*} R_{\alpha_1}^{(i)} R_{\alpha_2}^{(i)} \dots R_{\alpha_{j-1}}^{(i)} \right] \pi_{j,n}^{(i)} | (j-1)^* \\ + \left[\sum_{\alpha_1+\alpha_2+\dots+\alpha_{j-1}=M} R_{\alpha_1}^{(i)} R_{\alpha_2}^{(i)} \dots R_{\alpha_{j-1}}^{(i)} \right] \pi_{j,n}^{(i)} | M, 1 \leq n < C, \\ \pi_{j,C}^{(i)} = \left[\sum_{\alpha_1+\alpha_2+\dots+\alpha_{j-1}=0} R_{\alpha_1}^{(i)} R_{\alpha_2}^{(i)} \dots R_{\alpha_{j-1}}^{(i)} \right] \pi_{j,C}^{(i)} | 0 + \\ \sum_{(j-1)^*=1}^{M-1} \left[\sum_{\alpha_1+\alpha_2+\dots+\alpha_{j-1}=(j-1)^*} R_{\alpha_1}^{(i)} R_{\alpha_2}^{(i)} \dots R_{\alpha_{j-1}}^{(i)} \right] \pi_{j,C}^{(i)} | (j-1)^* \\ + \left[\sum_{\alpha_1+\alpha_2+\dots+\alpha_{j-1}=M} R_{\alpha_1}^{(i)} R_{\alpha_2}^{(i)} \dots R_{\alpha_{j-1}}^{(i)} \right] \pi_{j,C}^{(i)} | M \end{cases}$$

6 有关工作特性参量算法

(1) $B_1^{(i)}$ 有关服务概率的另一种表达式

$$R_1^{(i)} = \sum_{m=1}^C \pi_{1,m}^{(i)} \quad (14)$$

$$D_1^{(i)} = \sum_{m=1}^{M-1} m \pi_{1,m}^{(i)} + M \sum_{m=M}^C \pi_{1,m}^{(i)} \quad (15)$$

(2) 周期 T_c 关系式

参考文献[10]和本文的式(1)~(6), 可求出 T_c 和 $D_j^{(i)}$ 的关系表达式.

(3) 溢出损失率

$$r_j^{(i)} = 1 - \frac{D_j^{(i)}}{\lambda_j^{(i)} T_c} \quad (16)$$

$$r^{(i)} = 1 - \frac{D^{(i)}}{\left(\sum_{j=1}^K \lambda_j^{(i)} \right) T_c} \quad (17)$$

由式(7)可知, 在式(10)~(13)中, 尽管用集中参数 T_c 取代分布参数 t_c , 因 $D_j^{(i)}$ 和 T_c 尚未求出其数值, 故式(10)~(13)为超越方程, 无法用常规的数学方法求解. 为此, 本文采用反求法, 即对 $[\lambda_j^{(i)} T_c]$ 在一定区间内取样反求, 以及利用 $\lambda_j^{(i)}/\lambda_j^{(i)}$ 关系, 可先后求出 T_c , 各 $\pi_j^{(i)}$, $R_j^{(i)}$ 和 $D_j^{(i)}$ 等数值(具体计算和逼近精确值计算可参考文献[10]), 以上计算均可用计算机编程, 给出不同 Λ ($\Lambda = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^K \lambda_j^{(i)}$) 时的工作特性参数曲线或数据表.

参考文献:

- [1] Kleinrock L. Queueing System (Volume I: Theory) [M]. New York: John Wiley & Sons, 1975: 76.
- [2] 吴新瞻, 吴新垣. 随机模型与计算机模拟 [M]. 电子工业出版社, 1990: 184- 193.
- [3] 哈蒙德, 等著, 钟嘉强, 等译. 计算机局域网性能分析 [M]. 人民邮电出版社, 1991: 111- 116.

- [4] Hanuso Akimaru, Robert B Cooper. Teletraffic Engineering [M]. ÔMU Publishing House, 1985: 73- 76.
- [5] Ma Zili, Wang Siming, Li Qinglan. A class of cyclic queue with priority batch service [J]. Appl. Math. Modelling, 1991, 15(9): 450- 458.
- [6] Manfield D R. Analysis of priority polling system for two-way traffic [J]. IEEE Trans. Commun, 1985, COM-33(9): 1001- 1006.
- [7] Yukinori Fukagawa. An approximate analysis for a multiqueue with a non-preemptive priority and cyclic service [J]. Trans. Inst. Electron. Commun. Eng. Jpn, 1987, J70.-A(9): 1350- 1354.
- [8] 逯昭义, 王思明. 计算机通信网信息量理论 [M]. 电子工业出版社, 1997: 140- 144.
- [9] 刘强, 等. 一种轮询系统的平均周期时间 [J]. 计算机研究与发展, 1999, 36(7): 819- 823.
- [10] 王思明, 逯昭义. 一种单帧协议令牌牌环形 LAN 的数学建模与解析 [J]. 暨南大学学报, 1993, 14(3): 37- 44.

作者简介:



会等.

王思明 男, 1941 年生于湖南省涟源县. 暨南大学工程系教授. 中国电子学会高级会员. 1984 年~ 1986 年赴日(访问学者). 与他人合作完成多项国家和省自然科学基金项目; 多次获得教育部和省级科学成果奖励; 出版著作两部, 发表学术论文 60 余篇. 主要研究方向为计算机网络信息流量理论与仿真, 电子信息技术模仿社



何春燕 女, 1975 年生于山西省大同市. 暨南大学硕士研究生, 研究方向为计算机网络信息系统及应用、通信系统仿真等. 已有多篇学术论文发表.