

轮询多址通信系统的门限服务分析方法

余明辉¹, 杨斌², 赵东风³

(1. 湄洲湾职业技术学院 电子工程系, 福建 莆田 351254;
2. 厦门大学 电子工程系, 厦门 363105; 3. 云南大学 信息学院, 昆明 650091)

摘要: 针对多个用户共享一个统计复用的系统时, 在轮询多址通信系统的门限服务中, 必须采用适当的服务规则(如预约或轮询)的问题。采用嵌入马尔可夫链理论和概率母函数的方法, 对轮询排队系统的门限服务用两种不同的分析方法进行分析, 得到了相同的门限服务排队系统的平均排队队长和平均循环周期的解析结果。计算机模拟结果表明了仿真与理论的一致性。

关键词: 轮询多址; 门限服务; 排队队长; 循环周期

中图分类号: TN914.5 **文献标识码:** A

Service Scheme of Gated Polling Multi-Access Communication System

SHE Ming-hui¹, YANG Bin², ZHAO Dong-feng³

(1. Department of Electronic Engineering, Meizhouwang Institute of Technology, Putian 351254, China;
2. Department of Electronic Engineering, Xiamen University, Xiamen 363105, China;
3. Institute of Information, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: Aiming the problems at multiple users to share a multiplexing systems, in polling multi-access communication system of threshold services, appropriate service rules must adopted (such as reservation or interrupt-driven). Adopt embedded markov chain theory and probability generating function method of pollers for unreachable threshold service queuing system with two different analysis methods are analyzed and the same threshold service queuing system mean queue length and average cycles of analytical results. Computer simulation results show that the simulation and theory are consistency.

Key words: polling multi-access; gated service scheme; queue length; revolving period

0 引言

没有考虑服务规则和分组的优先级, 来一个分组服务一个分组^[1-4]。但当多个用户共享一个统计复用的系统时, 就必须采用适当的服务规则, 如预约或轮询, 对不同优先级的分组采用不同的服务方式等^[5-9]。笔者采用预约服务规则为基础, 对轮询多址通信系统门限服务进行分析研究, 提出了两种不同的算法。

1 系统模型

假设系统采用预约方式的服务规则, 周期性预约的方式(类似于 LAN (Local Area Network) 中的令牌环协议), 当第 1 个用户预约并传输一定数量的分组后, 由第 2 个用户进行预约和传输, 以此类推,

收稿日期: 2009-10-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60362001; 69862001; F04241004)

作者简介: 余明辉(1965—), 男, 福建莆田人, 湄洲湾职业技术学院副教授, 硕士, 主要从事随机多址通信、网络通信工程研究, (Tel) 86-13706097791 (E-mail) smh7791@126.com; 赵东风(1957—), 男, 武汉人, 云南大学教授, 博士生导师, 主要从事随机多址和轮询多址、网络通信工程研究, (Tel) 86-13698761411 (E-mail) Zhaodf0088@126.com。

所有用户按循环的次序预约传输,如图1a所示,所有用户预约传输一次构成一个周期^[10-12]。

由于在每次预约分组和数据分组的传输期间(称为预约传输期),会有新的分组到达,对这些新的分组有3种不同的处理方式:

- 1) 在每个用户的预约传输期内,仅传送预约分组传输前到达的分组;
- 2) 在每个用户的预约传输期内,将上次预约传输期结束到本次预约传输期结束前到达的分组都在本预约传输期内,或者说在预约传输期内,将内存中所有到达的分组都传送完毕;
- 3) 在每个用户的预约传输期内,仅传送预约分组传输结束前到达的所有分组。在3种不同的处理方式下,用户1的到达区间如图1b所示^[13,14]。

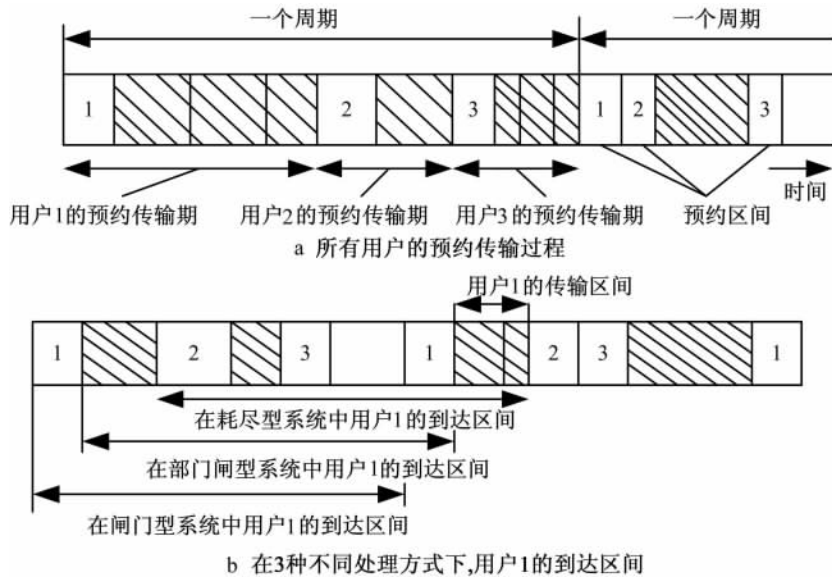


图1 采用预约方式的服务规则

Fig. 1 Service scheme based on reservation

2 系统分析

假设高速信道的分组到达率为 λ ,服务率为 μ ,所有(m 个)用户的分组到达过程都是相互独立的到达率为 λ/m 的Poisson过程,分组传送时间的均值为 $E(n) = 1/\mu$,即平均服务时间为 $1/\mu$ 。

对于多用户系统,多用户系统的服务规则与单用户的差别主要是新到达分组进入不同用户的队列(系统共有 m 个队列)时,将会遇到不同数量的预约时隙数(服务休假次数)^[15]。设系统有 m 个用户,当第 i 个分组到达系统时正好是第 l 个用户的预约传输期。如果第 i 个分组属于第 $l-1$ 个用户的队列,则会遇到 $m-1$ 个预约分组的传输^[16]。

在一个预约传输期中包括一个预约分组传输期和数据分组传输期(见图2)。

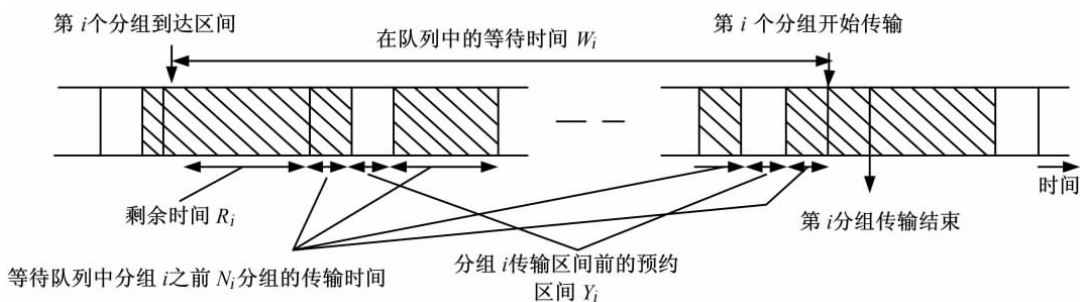


图2 多用户系统

Fig. 2 Multi-user system

由于在整个系统中, 分组的传输时间为 $\lambda(1/\mu) = \rho$, 且所有用户具有相同的到达率, 在稳定情况下, 具有相同的平均数据分组传输期长度^[17], 分组等概率地到达每个用户的预约传输期。因此分组到达第 1 个预约传输期中数据分组传输期的概率为 ρ/m 。在整个系统中, 预约分组的传输时间为 $1 - \rho$, 分组到达时的预约分组传输期可能是任一个用户的预约分组传输期^[18]。轮询系统有 3 个随机过程:

- 1) 信息分组的到达过程;
- 2) 服务器转换查询过程;
- 3) 服务器发送信息分组的时间。

门限服务排队系统多队列的单服务器如图 3 所示。

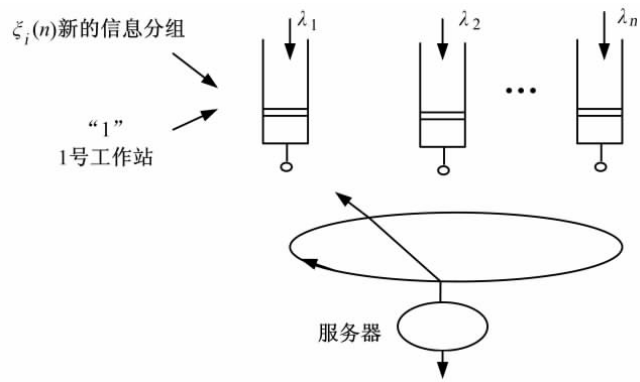


图 3 多队列的单服务器

Fig. 3 Single server based on multi-queue

对轮询多址通信系统的门限服务排队系统的分析方法, 笔者针对下列两种不同算法分析系统的平均排队队长和平均循环周期。门限服务轮询系统中有 N 个排队队列 (终端站), 这 N 个队列由一个服务器依秩序查询服务。由于考虑排队服务系统是在离散时间状态下的求解过程, 因此时间轴按单位时隙进行划分。

2.1 假设条件

假设 5 种条件:

- 1) 每个终端站在任一时隙期内都以相互独立、同分布的概率分布向各自的存储器 (排对空间) 内送入信息分组;
- 2) 任何 2 个以逻辑相连接的终端站之间的查询转换时间的随机变量服从于一个相互独立、同分布的概率分布;
- 3) 任何 1 个终端站在接受服务器时, 由其存储器向外发送一个信息分组所用时间的随机变量服从于一个相互独立、同分布的概率分布;
- 4) 每个终端站存储器的容量足够大, 不会产生信息分组的丢失;
- 5) 对进入存储器的信息分组, 按先进先发送的原则进行。

2.2 门限服务的轮询排队系统的分析方法一

假设 i 号终端站 ($i = 1, 2, \dots, N$) 是在 t_n 时刻 (τ 的整数倍) 接受服务器提供的服务, 当 i 号终端站以门限服务方式发送完其存储器内的信息分组数后, 服务器转去查询 $i + 1$ 号终端站。 $i + 1$ 号终端站是在 t_{n+1} 时刻 (τ 的整数倍) 接受服务。

在整个系统中, 在 t_{n+1} 时刻系统状态变量的概率母函数

$$G_{i+1}(Z_1, Z_2, \dots, Z_N) = R_i(\prod_{j=1}^N A_j(Z_j)) G_i(Z_1, Z_2, \dots, Z_{i+1}, B_i(\prod_{j=1}^N A_j(Z_j)), Z_{i+1}, \dots, Z_N) \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

其中 Π 表示连乘, $R_i(\prod_{j=1}^N A_j(Z_j))$ 表示队列转换时间。

定义 1 随机变量 $\xi_i(n)$ 是 i 号终端站在 t_n 时刻其存储器内存储的信息分组数, 则排队系统在 t_n 时刻服务器查询到 i 号工作站, 队列数为 $\{\xi_1(n), \xi_2(n), \dots, \xi_i(n), \dots, \xi_N(n)\}$ 。在满足 $N\lambda\beta < 1$ 的条件下,

网络系统是稳定的, $\lambda = \lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_N$, β 为每个信息分组的时间(平均) $\Pi_i(x_1, x_2, \dots, x_N)$ 。

因为

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \xi_1(n) &= \lambda_1 \\ \Pi_i(x_1, x_2, \dots, x_N) &= G_i(Z_1, Z_2, \dots, Z_N) \\ G_i(Z_1, Z_2, \dots, Z_N) &= \sum_{x_1=0}^{\infty} \sum_{x_2=0}^{\infty} \dots \sum_{x_N=0}^{\infty} \Pi_i(Z_1, Z_2, \dots, Z_N) Z_1^{x_1} Z_2^{x_2} \dots Z_N^{x_N} \end{aligned}$$

$u_i(n) : i \rightarrow i + 1$, i 号终端站发送信息所需的时间 $u_j(u_i)$ 表示在 $u_i(n)$ 时间内, 有 $u_j(u_i)$ 信息分组数进 j 号站

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} E\left(\prod_{j=1}^N Z_j^{u_j(u_i)}\right) &= \lim_{n \rightarrow \infty} E\left(\prod_{j=1}^N Z_j^{u_j(l_1) + u_j(l_2) + \dots + u_j(l_{u_i})}\right) \\ \lim_{n \rightarrow \infty} E\left(Z_j^{u_j(l_1)}\right) &= A_j(Z_j) \end{aligned} \tag{2}$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} E\left(\prod_{j=1}^N Z_j^{u_j(u_i)}\right) = \lim_{n \rightarrow \infty} E\left(\prod_{j=1}^N Z_j^{u_j(l_1) + u_j(l_2) + \dots + u_j(l_{u_i})}\right) = \lim_{n \rightarrow \infty} E\left\{\left(\prod_{j=1}^N A_j(Z_j)\right)^{u_i(n)}\right\}$$

又因为

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} E\left(Z_j^{u_i(n)}\right) &= R_i(Z_j) \\ \lim_{n \rightarrow \infty} E\left\{\left(\prod_{j=1}^N A_j(Z_j)\right)^{u_i(n)}\right\} &= R_i\left(\prod_{j=1}^N A_j(Z_j)\right) \end{aligned} \tag{3}$$

故

$$\lim_{n \rightarrow \infty} E\left(\prod_{j=1}^N Z_j^{u_j(u_i)}\right) = R_i\left(\prod_{j=1}^N A_j(Z_j)\right) \tag{4}$$

设平均信息分组为 $g_1(t)$, 1 号站平均队长为 $g_1(t)$, 平均服务时间为 β , 转换为 r , N 为工作站数。

$$g_1(1)\beta + r + g_2(2)\beta + r + \dots + g_N(N)\beta + r = E(\theta) \tag{5}$$

其中 $g_1(1)\beta$ 为服务时间, r 为“1”→“2”的转换时间, $E(\theta)$ 为平均查询周期(时隙)。因此有

$$\lambda_k \left(\sum_{j=1}^N \beta_j g_j(j) + \sum_{j=1}^N r_j \right) = \lambda_k E(\theta) = g_k(k) \tag{6}$$

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^N \beta_k \lambda_k \left(\sum_{j=1}^N \beta_j g_j(j) + \sum_{j=1}^N r_j \right) &= \sum_{k=1}^N g_k(k) \beta_k \\ \sum_{j=1}^N \beta_j g_j(j) &= \frac{\sum_{j=1}^N r_j \sum_{k=1}^N \beta_k \lambda_k}{1 - \sum_{k=1}^N \beta_k \lambda_k} \end{aligned} \tag{7}$$

由式(7)可得

$$g_k(k) = \frac{\lambda_k \sum_{j=1}^N r_j}{1 - \sum_{k=1}^N \beta_k \lambda_k} = \frac{Nr\lambda}{1 - N\beta\lambda} \quad k = 1, 2, \dots, N \tag{8}$$

因为

$$\frac{Nr\lambda}{1 - N\beta\lambda} = \lambda E(\theta)$$

故平均循环周期

$$E(\theta) = \frac{Nr}{1 - N\beta\lambda} \tag{9}$$

2.3 门限服务的轮询排队系统的分析方法二

在整个系统中, 概率母函数

$$G_{i+1}(Z_1, Z_2, \dots, Z_N) = R_i\left(\prod_{j=1}^N A_j(Z_j)\right) G_i(Z_1, Z_2, \dots, Z_{i+1}, B_i\left(\prod_{j=1}^N A_j(Z_j)\right), Z_{i+1}, \dots, Z_N) \quad i = 1, 2, \dots, N$$

以 θ_i 表示服务器先后 2 次查询第 i 号终端站所经过的时间, 即轮询系统的服务循环周期, 显然有 $E(\theta_i) = E(\theta_j) = E(\theta)$, $i \neq j$ 。

定义 2 $g_j(i) = \lim_{(Z_1, \dots, Z_N) \rightarrow 1} \frac{\partial G_i(Z_1, \dots, Z_N)}{\partial Z_j}$

对定义 2 进行求导得

$$g_{i+1}(j) = R_i'(1) A_j'(1) + g_i(j) + g_i(i) B_i'(1) A_j'(1) = r_i \lambda_j + g_i(j) + g_i(i) \beta_i \lambda_j \quad i \neq j \tag{10}$$

对式(10) 进行求和得

$$\sum_{i=1}^N g_{i+1}(j) = \sum_{i=1}^N r_i \lambda_j + \sum_{i=1, i \neq j}^N g_i(j) + \sum_{i=1}^N g_i(i) \beta_i \lambda_j$$

由式(10) 推导知

$$\begin{aligned} g_2(j) &= r_1 \lambda_j + g_1(j) + g_1(1) \beta_1 \lambda_j \\ g_3(j) &= r_2 \lambda_j + g_2(j) + g_2(2) \beta_2 \lambda_j \\ g_4(j) &= r_3 \lambda_j + g_3(j) + g_3(3) \beta_3 \lambda_j \\ &\dots \\ g_j(j) &= r_{j-1} \lambda_j + g_{j-1}(j) + g_{j-1}(j-1) \beta_{j-1} \lambda_j \\ g_j(j) &= \lambda_j \sum_{i=1}^N r_i + \lambda_j \sum_{i=1}^N g_i(i) \beta_i \end{aligned} \tag{11}$$

对式(11) 乘以 β_j 后, 再求和得

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^N \beta_j g_j(j) &= \sum_{j=1}^N \beta_j \lambda_j \sum_{i=1}^N r_i + \sum_{j=1}^N \beta_j \lambda_j \sum_{i=1}^N g_i(i) \beta_i \\ \sum_{j=1}^N \beta_j g_j(j) &= \frac{\sum_{j=1}^N \beta_j \lambda_j \sum_{i=1}^N r_i}{1 - \sum_{j=1}^N \beta_j \lambda_j} \end{aligned} \tag{12}$$

将式(12) 代入式(11) 得平均排队队长

$$\begin{aligned} g_j(j) &= \lambda_j \left(\sum_{i=1}^N r_i + \frac{\sum_{j=1}^N \beta_j \lambda_j \sum_{i=1}^N r_i}{1 - \sum_{j=1}^N \beta_j \lambda_j} \right) = \frac{\lambda_j \sum_{i=1}^N r_i}{1 - \sum_{j=1}^N \beta_j \lambda_j} \\ &= \frac{Nr\lambda}{1 - N\beta\lambda} \quad i = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \tag{13}$$

平均循环周期

$$E(\theta_i) = \frac{g_j(j)}{\lambda_j} = \frac{Nr}{1 - N\beta\lambda} \tag{14}$$

从上述分析可知, 分析方法一得到的结果(式(8) 和式(9)) 与分析方法二得到的结果(式(13) 和式(14)) 完全一致。

3 理论计算与计算机模拟实验

在门限服务轮询系统中, 每个终端站在任一单位隙期内送入其存储器中的信息分组数服从 Poission 分布, 理论计算与计算机仿真实验采用相同的参数值, 结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 4 个终端站分析实验结果

Tab. 1 Experiment results of 4 terminals

i	λ	β	r	$g_j(j)$ 或 $g_k(k)$		$E(\theta)$ 或 $E(\theta_i)$	
				理论值	仿真值	理论值	仿真值
1	0.01	5	1	0.200 0	0.298 6	20.000 0	20.176 5
2	0.05	1	1	0.111 1	0.107 3	2.222 2	2.198 7
3	0.05	2	3	0.642 9	0.712 5	12.857 1	13.127 4
4	0.10	2	2	4.000 0	3.869 8	40.000 0	39.672 1

表2 8个终端站分析实验值
Tab. 2 Experiment results of 8 terminals

i	λ	β	r	$g_j(j)$ 或 $g_k(k)$ (slot)		$E(\theta)$ 或 $E(\theta_i)$ (slot)	
				理论值	仿真值	理论值	仿真值
1	0.001	1	1	0.001 0	0.000 80	1.001 0	0.907 3
2	0.001	1	2	0.004 0	0.003 70	4.008 0	4.006 2
3	0.002	1	2	0.012 1	0.023 50	6.036 2	6.181 7
4	0.002	1	3	0.024 2	0.017 53	12.096 8	12.074 6
5	0.002	2	3	0.030 6	0.013 92	15.306 1	15.301 3
6	0.002	5	1	0.012 8	0.065 76	6.383 0	6.472 5
7	0.005	2	1	0.037 6	0.032 53	7.526 9	7.502 6
8	0.005	2	2	0.086 9	0.097 74	17.391 3	17.475 8

从表1和表2可以看出:

- 1) β, λ 对 $E(\theta)$ 或 $E(\theta_i)$ 和 $g_i(i)$ 或 $g_k(k)$ 是指数型变化, 它对系统的稳定性产生较大影响;
- 2) r 对 $E(\theta)$ 或 $E(\theta_i)$ 和 $g_i(i)$ 或 $g_k(k)$ 是线性型变化, 对系统的稳定性影响不大;
- 3) N 对系统稳定性不会产生太大变化。

系统的到达流具有 n 个优先级, 第1类的分组流具有最高优先级, 第2类的分组流具有次高优先级, 第 n 类的分组流具有最低的优先级。对最高优先级的队列采用完全服务规则, 而对其他队列采用限定 ($k = 1$) 服务规则; 当最高优先级队列中无信息分组时, 次最高优先级队列采用完全服务规则 (对最高优先级的队列采用完全服务, 对最低优先级的队列采用限定服务, 而对中间级队列采用两种服务)。

当一个分组正在传输, 而有一个高优先级分组到达时, 有两种处理方法: 1) 当前正在传输的分组传输结束后再传送高优先级的分组 (称为非强插优先级, Nonpreemptive Priority); 2) 高优先级分组中断当前低优先级分组的传输, 待高优先级分组传输结束后, 再接着传输低优先级的分组。

4 结 语

通过以上分析, 笔者基于预约式方式的服务规则, 对轮询多址通信系统中的门限服务排队系统的分析, 提出两种不同的分析方法, 这两种分析方法的算法提高了分析方法的速度, 同时极大地保证了算法的准确性。计算机仿真实验结果表明, 理论分析和仿真实验有较好的一致性和合理性。

参考文献:

- [1] LEONARD K, FUUAD A TOBAGZ. Packet Switching in Radio Channels: Part I-Carrier Sense Multiple-Access Modem and Their Throughput-Delay Characteristics [J]. IEEE Trans Commun, 1975, 23 (12): 1400-1416.
 - [2] ROYER E M. A Review of Current Routing Protocol for Ad Hoc Mobile Wireless Networks [J]. IEEE Personal Communications Magazine, 1999, 6 (2): 46-55.
 - [3] STEPHAN E, JEWITT J. TPPM Reporting MI [J]. Network Working Group Internet Draft, 2003 (3): 17-20.
 - [4] STEPHAN E. IPPM Metrics Registry [J]. Network Working Group Internet Draft, 2003 (4): 45-49.
 - [5] NICOPOLITIDIS P, PAPANIMITRIOU G I, OBAIDAT M S. Carrier-Sense-Assisted Adaptive Learning MAC Protocols for Distributed Wireless LANs [J]. International Journal of Communication Systems, 2005, 18 (7): 657-669.
 - [6] ASHUTOSH SABHARWAL. Opportunistic Spectral Usage: Bounds and a Multi-Band CSMA/CA Protocol [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2007, 15 (3): 533-544.
 - [7] HAN Y S, JING Deng, HAAS Z J. Analyzing Multi-Channel Medium Access Control Schemes with ALOHA Reservation [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2006, 5 (8): 2143-2152.
 - [8] ZHOU Ning-yu, ZHAO Dong-feng, DING Hong-wei. Analysis of Multi-Channel and Slotted Random Multi-Access Protocol with Two-Dimensional Probability for Ad Hoc Network [J]. Tsinghua Science and Technology, 2008, 13 (6): 747-753.
 - [9] WILLISAM STALLINGS. 无线通信与网络 [M]. 第2版. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- WILLISAM STALLINGS. Wireless to Communicate with Network [M]. 2nd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.

- [10] SAADAWI T N. 远程通信网络基础 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1996.
SAADAWI T N. Long-Range Communication Network is Basic [M]. Beijing: Electronic Industrial Press, 1996.
- [11] 周炯磐. 通信网理论基础 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1991.
ZHOU Jiong-pan. Communicate to Net Theoretical Foundation [M]. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 1991.
- [12] 王承恕. 通信网新技术 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.
WANG Cheng-su. Communicate to Net Theoretical Foundation [M]. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 2006.
- [13] 余明辉, 林琳, 赵东风. 自适应多通道二维概率型时隙式随机多址无线通信网络协议分析 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2009, 31 (3): 232-237.
SHE Ming-hui, LIN Lin, ZHAO Dong-feng. Analysis of Adaptive Two-Dimensional Probability Multi-Channel and Slotted Random Multiple-Access Protocol for Wireless Communication Network [J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition, 2009, 31 (3): 232-237.
- [14] 赵东风. 一种新的时间连续随机多址系统分析方法研究 [J]. 电子科学学刊, 1999, 21 (1): 37-41.
ZHAO Dong-feng. Study on a New Method for Continuous-Time Systems of Random Access Channel [J]. Journal of Electronics, 1999, 21 (1): 37-41.
- [15] 余明辉, 赵东风. 基于随机多址协议的系统吞吐量分析 [J]. 吉林大学学报: 信息科学版, 2010, 28 (1): 13-19.
SHE Ming-hui, ZHAO Dong-feng. Analysis Throughput Based on Stochastic Multi-Addresses of System [J]. Journal of Jilin University: Information Science Edition, 2010, 28 (1): 13-19.
- [16] 余明辉, 黄毛毛, 赵东风, 等. 一种新的 WSN 随机多址 MAC 协议设计与性能分析 [J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2010, 32 (1): 18-25.
SHE Ming-hui, HUANG Mao-mao, ZHAO Dong-feng, et al. Design of a New WSN Random Multi-Access MAC Protocol and Analysis Its Performance [J]. Journal of Yunnan University: Natural Sciences Edition, 2010, 32 (1): 18-25.
- [17] 曾华焱. 现代网络通信技术 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2006.
ZENG Hua-yan. Modern Network Communication Technology [M]. Chengdu: Southwest Traffic University Press, 2006.
- [18] 沈连丰. 信息与通信工程原理与实验 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
SHEN Lian-feng. Information and Communication Project Principle and Experiment [M]. Beijing: Science Press, 2007.

(责任编辑: 刘东亮)