

基于综合业务优先级双令牌双环 LAN 的性能解析评价

慕庆阳^① 王立宏^② 逯昭义^{①*}

^①(青岛大学信息工程学院 青岛 266071)

^②(烟台大学计算机学院 烟台 264000)

摘要: 该文将优先级控制机制引入到综合业务双令牌双环 LAN 中, 对具有 3 个优先级的双令牌双环 LAN 建立了排队模型并进行了数学解析和模拟试验, 得到了有关性能评价的重要参量, 对解析结果进行了数值计算及结果分析, 从而为在综合业务环境下建造双令牌双环 LAN 提供了理论依据。

关键词: 双令牌双环 LAN; 优先级; 排队模型; 数学建模

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)04-0984-04

Performance Resolution and Evaluation for Priority Dual Token Ring LAN Based on Integrated Service

Mu Qing-yang^① Wang Li-hong^② Lu Zhao-yi^①

^①(Dept of Info. Eng. College, Qingdao University, Qingdao 266071, China)

^②(Dept of Computer College, Yantai University, Yantai 264000, China)

Abstract: This paper combines firstly priority control mechanism into integrated service dual token ring LAN, constructs queuing model, and then gets mathematical solving and simulation results for dual token ring LAN of three priorities, and gets important factors of the performance estimate of the computer network, and to proceed numerical calculation and results analysis for resolution results, which could provide theory basis for constructing dual token ring in integrated service condition.

Key words: Dual token ring LAN; Priority control; Queuing model; Mathematic modeling

1 前言

现代计算机通信网正朝着综合业务方向发展, 服务业务包括了语音、数据、视频等, 每种业务都有不同的统计特性并需要各种业务的服务质量(QoS)。进行优先级控制是提高综合业务网络 QoS 的有效手段。

关于计算机网络中优先级控制的研究, 开始时主要集中在时间优先级控制^[1,2], 随着研究工作的进展, 时间优先级控制有了重大发展, 使其渐趋完善。关于空间优先级控制, 以前涉及较少, 在网络建模研究中, 人们只是就缓冲器(或称排队室)设定无限和有限两种情况。然而, 随着通信业务的多样化, 在有限缓冲器必然就出现保留谁、溢出谁的所谓空间优先级问题。主要策略有简单丢弃、挤出(PO)和部分缓存共享(PBS)等。空间优先级策略及其建模研究, 在最近几年异常迅猛^[3,4]。服务员优先级控制对信元通信网也有现实意义, 它能保证给优先级高的顾客提供较多的服务员^[5], 也需进行研究。本文主要考虑时间优先级。

双令牌双环的数学模型已经解析^[6], 考虑到具有优先级的网络服务已经得到较广泛的应用, 因此还需要对加入优先

级控制机制的双令牌双环 LAN 进行性能解析评价。本文在每个结点的排队室设立 3 个不同优先级的队列(称为队列 1, 队列 2 和队列 3), 分别对应综合业务的语音、视频和数据。队列 1 优先级最高, 队列 2 次之, 队列 3 优先级最低。

2 运行机理分析和排队模型的建立

具有优先级双令牌双环 LAN 的拓扑结构如图 1 所示。它具有以下特征:

- (1)如果两帧信息同时到达同一目的结点, 则它们分别被复制到两个接收缓冲区, 等待高层的处理。
- (2)当接收结点正在复制接收一帧信息时, 若另一空令牌到达, 该结点在接收信息的同时可以发送信息。

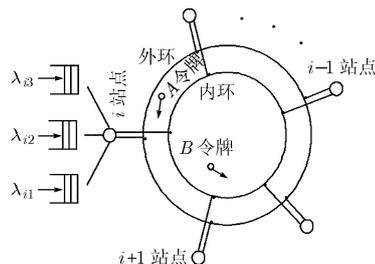


图 1 优先级双令牌双环 LAN

(3)当一帧信息正在回收时,另一帧信息也返回,则分别按单环LAN的协议独立进行回收。这样,由于源结点在回收整个帧之后才放出空令牌,所以环网上最多有两个忙令牌携带信息帧运行。

(4)本文中两个空令牌同时到达同一结点进行服务,同时是指到达间隔为 Δt ,且 $\Delta t \rightarrow 0$ 。

(5)空令牌到达各个结点时要先服务队列1的顾客,队列1无顾客则服务队列2的顾客,若队列2也无顾客才服务队列3的顾客,服务完一个顾客后离开;若结点无顾客则离开本结点到下游结点继续服务。

同无优先级的双令牌双环LAN一样,将令牌看作服务员,把到达排队室的信元看作顾客,如果设服务时间为信息帧全部发送到环上的时间,即服务时间为信元的时宽 h 并且在综合业务网络中认定 h 很小;设两个服务员到达间隔大于服务时间 h ,自然不会出现两个服务员的同時服务。于是在运行机理上,系统可等效为一个虚拟服务员的间歇式优先级服务。“虚拟”是指从 i 结点排队的顾客来看,服务员每隔一定的时间来服务一次,而到达 i 结点的服务员可能是A服务员,也可能是B服务员,譬如服务第1个顾客的是A服务员(B服务员),服务第2个顾客的也是A服务员(B服务员),或者服务第1个顾客的是A服务员(B服务员),而服务第2个顾客的是B服务员(A服务员)。对顾客来说可以看作同一个服务员(虚拟服务员)间隔一段时间来服务一次,这样就将两个服务员的优先级服务系统转换成一个虚拟服务员的间歇式循环优先级服务系统。将优先级双令牌LAN近似等效为一个虚拟服务员的间歇式优先级服务系统后,可以以对称限制式多重排队模型来解析。对称是指环LAN上的 N 个结点,其顾客到达规律、服务规律等完全相同。限制式是指虚拟服务员到达每个工作站时,每次只服务1个顾客。多重排队模型是指系统有 N 个队列。对这种系统只需解析其中的一个队列,就以任意一个结点(如 i 结点)为例分析。

对该具有优先级双令牌双环系统进一步说明如下:(1)各个队列顾客的到达遵从到达率为 λ_{ij} 的泊松过程,其中 i 为结点序号($i=1,2,\dots,N$), j 为某结点队列序号($j=1,2,3$),因为独立泊松过程的迭加仍为泊松过程,因此第 i 站到达率 $\lambda_i = \sum_{j=1}^3 \lambda_{ij}$ 。(2)虚拟服务员为第 i 站 j 列服务的的服务时间分布为 $H_{ij}(t)$,本文设定虚拟服务员服务一个顾客的时间为一个信元时宽 h 。(3)设虚拟服务员从结点 i 到结点 $i+1$ 的步行时间的分布为 $d_i(t)$,由于本文以对称限制式多重排队模型来解析,所以可近似结点间的距离为定长 d ,虚拟服务员绕环一周的时间为定长 D 。(4)缓冲器容量无限;不存在传错重发。(5)令牌途经结点的时延为令牌所占时宽(设为 h_c)。

由上面的分析和设定可得到该系统的排队模型如图2所示。



图2 优先级双令牌双环LAN排队模型

3 数学解析

设第 i 站第 j 列信元的等待时间为 W_{ij} ,则 W_{ij} 可以分解为如下5类等待时间:(1)到达某顾客如属队列1,且虚拟服务员正在绕环中(包括步行和正在某结点服务)。则顾客到达至开始接受虚拟服务员服务的时间间隔,称为第I类等待时间 w_I 。(2)到达某顾客如属队列2,在它排队等待期间,队列1无新顾客到达,服务员从开始服务队列2队首顾客到开始服务到达顾客的时间间隔,称为第II类等待时间 w_{II} 。(3)到达某顾客如属队列2,在它到达之后至接受服务之前,如果队列1又有新的顾客到达,这部分新到达顾客也要在该顾客服务之前接受服务。服务队列1新到达顾客的时间间隔为第III类等待时间 w_{III} 。(4)到达某顾客如属队列3,在它排队等待期间,队列1、队列2均无新顾客到达,服务员从开始服务队列3队首顾客到开始服务到达顾客的时间间隔,称为第IV类等待时间 w_{IV} 。(5)到达某顾客如属队列3,在它到达之后至接受服务之前,如果队列1、队列2又有新的顾客到达,这部分新到达顾客也要在该顾客服务之前接受服务。服务队列1、队列2新到达顾客的时间间隔为第V类等待时间 w_V 。

设3个队列的平均等待时间分别为 W_{i1}, W_{i2}, W_{i3} ,队列1的等待时间只包括第I类等待时间 w_I ,即 $W_{i1} = \bar{w}_I$,队列2的等待时间包括I, II, III 3类等待时间即 $W_{i2} = \bar{w}_I + \bar{w}_{II} + \bar{w}_{III}$,队列3的等待时间包括以上I, II, IV, V 4类等待时间即 $W_{i3} = \bar{w}_I + \bar{w}_{II} + \bar{w}_{IV} + \bar{w}_V$ 。下面将分别求解这5类等待时间的平均值。

(1)第I类平均等待时间 \bar{w}_I 如图3所示,取每次虚拟服务员在 i 结点刚服务完离开时为观察时点,设服务员离开的循环周期为 t_Q ,其中 t_Q 是服从一般分布 $Q_i(t)$ 的随机变量, \bar{T}_Q 为 t_Q 的均值,间歇时间为 R_i ,设 L_{i1}, L_{i2}, L_{i3} 分别为 i 结点队列1,队列2,队列3的平均队长。设某顾客到达至虚拟服务员再次离开的随机间隔为 y ,由更新过程的理论可知, y 为前向重复时间,于是可得:

y 概率分布 $Y(t)$ 为

$$Y(t) = \frac{1}{\bar{T}_Q} \int_0^t [1 - Q_i(y)] dy \tag{1}$$

y 的概率密度函数 $y(t)$ 为

$$y(t) = [1 - Q_i(t)] / \bar{T}_Q \tag{2}$$

对 $y(t) = \frac{dY(t)}{dt}$ 两边取LS变换,得

$$LS[y(t)] = sY(s) - y(0) \tag{3}$$

其中 $y(0) = 0$,由式(2),式(3)可得

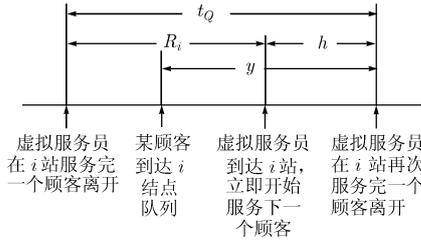


图3 等待时间的分析

$sY(s)=(1/\bar{T}_Q)[1-Q_i(s)]$, 即

$$Y(s)=\frac{1}{\bar{T}_Q}\left[\frac{1-Q_i(s)}{s}\right] \quad (4)$$

设 y 的均值为 \bar{y} , 可得 $\bar{y}=-\frac{dY(s)}{ds}\Big|_{s=0}=-\frac{1}{\bar{T}_Q}$

$$\frac{Q'_i(s)s+(1-Q_i(s))}{s^2}\Big|_{s=0}$$

当 $s=0$ 时, $s^2=0, Q'_i(s)s=0$, 当循环周期分布 $Q_i(t)$ 为定长分布时, $Q_i(s)\Big|_{s=0}=1$, 严格讲考虑本文设定的循环周期为一般分布, 所以 $Q_i(s)\Big|_{s=0}$ 近似为 1。所以 $Q'_i(s)s+(1-Q_i(s))\Big|_{s=0}=0$, 利用洛比达法则得

$$\bar{y}=\frac{1}{\bar{T}_Q}\frac{Q'_i(s)s+Q'_i(s)-Q'_i(s)}{2s}\Big|_{s=0}=\frac{Q''_i(s)}{2\bar{T}_Q}\Big|_{s=0}=\frac{\bar{T}_Q^2}{2\bar{T}_Q} \quad (5)$$

其中 \bar{T}_Q^2 为 t_Q 的二阶原点矩

$$\bar{T}_Q^2=\sigma^2+\bar{T}_Q^2 \quad (6)$$

其中 σ^2 为 t_Q 的方差。设 k 为顾客 G 到达队列 1 时排在其前面的顾客数, 当 $k=0$ 时, $\bar{w}_1=\bar{y}-h$; $k=1$ 时, $\bar{w}_1=\bar{y}+\bar{R}_i$; $k=2$ 时, $\bar{w}_1=\bar{y}+h+2\bar{R}_i$; $k=3$ 时, $\bar{w}_1=\bar{y}+2h+3\bar{R}_i$ 。对一般的 k ,

$$\begin{aligned} \bar{w}_1 &= \bar{y} + (k-1)h + k\bar{R}_i = \frac{\bar{T}_Q}{2} + \frac{\sigma^2}{2\bar{T}_Q} + (L_i-1)h + L_i\bar{R}_i \\ &= \frac{\bar{T}_Q}{2} + \frac{\sigma^2}{2\bar{T}_Q} - h + L_i\bar{T}_Q \end{aligned} \quad (7)$$

其中 $(\bar{T}_Q/2) + (\sigma^2/2\bar{T}_Q) - h$ 表示从某顾客到达 i 结点至服务员到 i 结点的时间间隔。

(2)第II类平均等待时间 \bar{w}_{II} 若到达的顾客属队列 2, 则其均值 \bar{w}_{II} 为

$$\bar{w}_{II} = L_2\bar{T}_Q \quad (8)$$

(3)第III类平均等待时间 \bar{w}_{III} 设队列 2 的到达顾客 G 从产生到开始接受服务的时间间隔内, 队列 1 又产生了 K 个顾客, 其中 $K=\lambda_{II}W_{II}$, 那么这 K 个顾客的循环周期的总和就是第III类等待时间, 其均值为

$$\bar{w}_{III} = K\bar{T}_Q \quad (9)$$

(4)第IV类平均等待时间 \bar{w}_{IV} 若到达的顾客属队列 3, 则其均值 \bar{w}_{IV} 为

$$\bar{w}_{IV} = L_3\bar{T}_Q \quad (10)$$

(5)第V类平均等待时间 \bar{w}_V 设到达顾客从到达队列 3 到开始接受服务的时间间隔内, 队列 1, 队列 2 又产生了 M 个顾客, 其中 $M=M=\lambda_{II}W_{II}+\lambda_{III}W_{III}$, 那么这 M 个顾客

的循环周期的总和就是第V类等待时间, 其均值为

$$\bar{w}_V = M\bar{T}_Q \quad (11)$$

综上可得, i 结点 3 队列的平均排队等待时间为

$$W_{i1} = \bar{w}_1 = \frac{\bar{T}_Q}{2} + \frac{\sigma^2}{2\bar{T}_Q} - h + L_{i1}\bar{T}_Q \quad (12)$$

$$\begin{aligned} W_{i2} &= \bar{w}_1 + \bar{w}_{II} + \bar{w}_{III} \\ &= \frac{\bar{T}_Q}{2} + \frac{\sigma^2}{2\bar{T}_Q} - h + L_{i1}\bar{T}_Q + L_{i2}\bar{T}_Q + K\bar{T}_Q \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} W_{i3} &= \bar{w}_1 + \bar{w}_{II} + \bar{w}_{III} + \bar{w}_V \\ &= \frac{\bar{T}_Q}{2} + \frac{\sigma^2}{2\bar{T}_Q} - h + L_{i1}\bar{T}_Q + L_{i2}\bar{T}_Q + L_{i3}\bar{T}_Q + M\bar{T}_Q \end{aligned} \quad (14)$$

根据利陶公式

$$L_{i1} = \lambda_{i1}W_{i1}, L_{i2} = \lambda_{i2}W_{i2}, L_{i3} = \lambda_{i3}W_{i3} \quad (15)$$

由式(12), 式(15)可得 $W_{i1} = \frac{\bar{T}_Q}{2} + \frac{\sigma^2}{2\bar{T}_Q} - h + \lambda_{i1}W_{i1}\bar{T}_Q$ 整理得

$$W_{i1} = \frac{\bar{T}_Q/2 + \sigma^2/(2\bar{T}_Q) - h}{1 - \lambda_{i1}h - \lambda_{i1}\bar{R}_i} = \frac{\bar{T}_Q/2 + \sigma^2/(2\bar{T}_Q) - h}{1 - \lambda_{i1}\bar{T}_Q} \quad (16)$$

将式(15)代入式(13)可得:

$$W_{i2} = \frac{\bar{T}_Q}{2} + \frac{\sigma^2}{2\bar{T}_Q} - h + \lambda_{i1}W_{i1}\bar{T}_Q + \lambda_{i2}W_{i2}\bar{T}_Q + \lambda_{i3}W_{i2}\bar{T}_Q \quad (17)$$

整理得

$$W_{i2} = \frac{\bar{T}_Q/2 + \sigma^2/(2\bar{T}_Q) - h}{(1 - (\lambda_{i1} + \lambda_{i2})\bar{T}_Q)(1 - \lambda_{i1}\bar{T}_Q)} \quad (18)$$

将式(15)代入式(14)可得:

$$\begin{aligned} W_{i3} &= \frac{\bar{T}_Q}{2} + \frac{\sigma^2}{2\bar{T}_Q} - h + \lambda_{i1}W_{i1}\bar{T}_Q + \lambda_{i2}W_{i2}\bar{T}_Q \\ &\quad + \lambda_{i3}W_{i3}\bar{T}_Q + (\lambda_{i1}W_{i3} + \lambda_{i2}W_{i3})\bar{T}_Q \end{aligned} \quad (19)$$

将式(16), 式(18)代入式(19)求得:

$$W_{i3} = \frac{\bar{T}_Q/2 + \sigma^2/(2\bar{T}_Q) - h}{(1 - (\lambda_{i1} + \lambda_{i2})\bar{T}_Q)(1 - \lambda_{i1}\bar{T}_Q)} \quad (20)$$

\bar{T}_Q 为已知量, 在文献[6]中已经求解, 因此:

$$\bar{T}_Q = \frac{N}{2}(P_iD + P_ih + h_c) + \frac{D}{2} \quad (21)$$

其中

$$P_i = \frac{\lambda_i(D + Nh_c) - 2\lambda_ih}{2 - 2\lambda_ih - \lambda_iN(h + D)} \quad (22)$$

4 数值计算及结果分析

设环长为 l , 环上结点数为 N , 令牌的长度为 24bit, 信号的传播速度为光在介质中的速度, 一般为 200×10^6 m/s, 数据传输速率为 4×10^6 bps, 信元长度为 424bit。本文设顾客到达率分别为 $\lambda_{i1}=0.1, \lambda_{i2}=0.2, \lambda_{i3}=0.3$ 则 i 结点总的到达率 $\lambda_i = \lambda_{i1} + \lambda_{i2} + \lambda_{i3} = 0.6$ 。

(1)设 σ^2 为定值, 取 $\sigma^2 = \bar{T}_Q^2/4$, 则平均等待时间(单位 μ s)的计算只跟两个变量 l, N 的取值有关, 所以依据前面的算式分别给出 l, N 后, 可求得 3 个队列的平均等待时间 W_{i1}, W_{i2}, W_{i3} , 单位 μ s。

(a) l 分别取 1km, 3km 时可得出 W_{i1}, W_{i2}, W_{i3} 随着 N 变化的情况, 由于 W_{i1}, W_{i2}, W_{i3} 必须满足 $W_{i1} \geq 0, W_{i2} \geq 0,$

$W_{i3} \geq 0$, 可以得到当 l 分别取 1km, 3km, N 分别小于 54, 53 时平均等待时间为零。

(b)分别取 $l=1\text{km}, 3\text{km}$ 时, 依据式(16)、式(18)、式(20)、式(21)、式(22)式可求得 W_{i1}, W_{i2}, W_{i3} 随 N 变化的值, 其数表如表 1 所示, 变化曲线如图 4, 图 5 所示。

(c)由表 1, 图 4、5 可见, 当结点数 N 较小时, 3 个队列顾客的平均等待时间较小, 说明在环上结点数较少的情况下, 采用优先级的效果并不十分明显, 但随着结点数增加(比如 500), 3 个队列的平均等待时间迅速增加, 但队列 1 的平均等待时间明显比队列 2, 队列 3 小, 从而提高了综合业务的服务质量。

表 1 l, N 变化时得到的 W_{ij}

l	W_{ij}	N				
		100	200	300	400	500
1km	W_{i1}	107.87	428.05	966.28	2060.3	5490.5
	W_{i2}	108.43	433.59	991.61	2171.4	6301.2
	W_{i3}	109.37	433.06	1036.1	2377.6	8120.7
3km	W_{i1}	114.42	455.24	1074.3	2547.2	10568
	W_{i2}	115.03	461.43	1105.3	2716.7	13836
	W_{i3}	116.06	472.03	1160.1	3039.6	24160

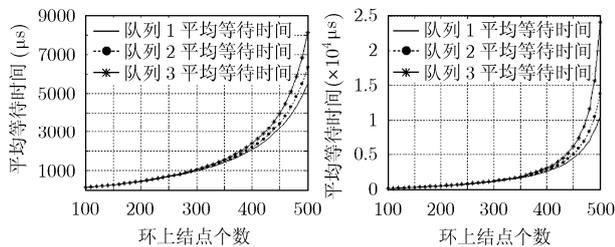


图 4 $l=1\text{km}$ 时

W_{i1}, W_{i2}, W_{i3} 的变化曲线

图 5 $l=3\text{km}$ 时

W_{i1}, W_{i2}, W_{i3} 的变化曲线

(2)设 l 为定值, 取 $l=1\text{km}$, 则平均等待时间(单位 μs)的计算只跟两个变量 N, σ^2 的取值有关, 所以依据前面的算式分别给出 N, σ^2 后, 可求得 3 个队列的平均等待时间 W_{i1}, W_{i2}, W_{i3} , 单位 μs 。

(a)分别取 $N=200, 500$ 时, 依据式(16)、式(18)、式(20)、式(21)、式(22)可求得 W_{i1}, W_{i2}, W_{i3} 随 σ^2 变化的值, 其数表如表 2 所示, 变化曲线如图 6、图 7 所示。

(b)由表 2, 图 6、图 7 可见, 在结点数 N 一定的情况下, 3 个队列顾客的平均等待时间随着循环时间方差值的增加而增加。在结点数较小的情况下(比如 200), 3 个队列顾客的平均等待时间差别较小, 而在结点数较多的情况下(比如 500), 各个队列的平均等待时间差别较大, 高优先级队列(队列 1)顾客平均等待时间较短, 而低优先级队列(队列 3)顾客等待时间较长, 说明在环上结点数较多时, 采用优先级服务有效

地减少了高优先级队列的平均等待时间。

表 2 N, σ^2 变化时得到的 W_{ij}

N	W_{ij}	σ^2				
		$\bar{T}_q^2/16$	$\bar{T}_q^2/18$	$\bar{T}_q^2/4$	$\bar{T}_q^2/2$	\bar{T}_q^2
200	W_{i1}	347.88	347.6	428.05	534.95	748.75
	W_{i2}	352.88	379.49	433.59	541.87	758.44
	W_{i3}	360.07	387.74	443.06	553.71	775.01
300	W_{i1}	4650.3	4930.4	5490.5	6610.7	8851.2
	W_{i2}	5337	5658.4	6301.2	7586.9	10158
	W_{i3}	6878	7292.2	8120.7	9777.6	13091

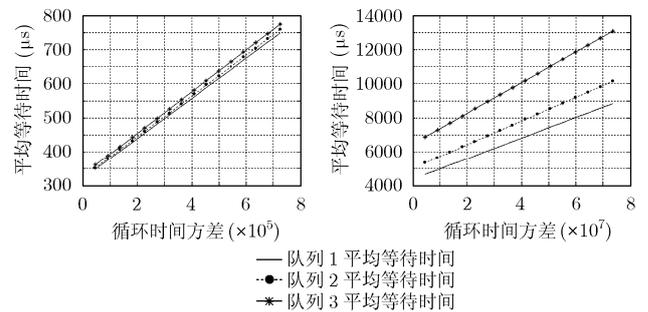


图 6 $N=200$ 时

W_{i1}, W_{i2}, W_{i3} 的变化曲线

图 7 $N=500$ 时

W_{i1}, W_{i2}, W_{i3} 的变化曲线

参考文献

- [1] Laevens K and Bruncel H. Discrete-time multiserver queues with priorities. *Performance Evaluation*, 1998, 33(4): 249-275.
- [2] Mehmet Ali M and Song X A. performance analysis of a discrete-time priority queueing system with correlated arrivals. *Performance Evaluation*, 2004, 57(3): 307-339.
- [3] Pandya A S, Sen Ercan, and Hsu Sam. Buffer allocation optimization in ATM switching networks using ALOPEX algorithm. *Neurocomputing*, 1999, 24(1-3): 1-11.
- [4] Obaidat M S, Ahmed C B, and Boudriga N. DRA: A new buffer management scheme for wireless atm networks using aggregative large deviation principle. *Computer Communications*, 2003, 26(7): 708-717.
- [5] Lin Y M and Silvester J A. Priority queueing strategies and buffer allocation protocols for traffic control at an ATM integrated broadband switching system. *IEEE J-SAC*, 1991, 9(9): 1524-1536.
- [6] 逯昭义, 姜辉. 综合业务双环 LAN 的一种新协议及数学建模. *电子与信息学报*, 2007, 29(8): 1974-1978.

慕庆阳: 男, 1982 年生, 硕士, 研究方向为计算机网络与通信。
 王立宏: 女, 1970 年生, 博士, 教授, 研究领域为计算机软件与理论、数据仓库等。
 逯昭义: 男, 1942 年生, 教授, 博士生导师, 研究领域为计算机网络体系结构、计算机通信网业务量理论。