

# 非强占有有限优先权 M/M/n/m 模型的无线 Mesh 网络 QoS 研究

张 挺 李陶深 葛志辉

(广西大学计算机与电子信息学院 南宁 530004)

**摘 要** 根据无线 Mesh 网络的多跳性特征,简单的 M/M/1 排队论模型不足以描述 Mesh 网络的性能。提出了面向无线 Mesh 网络的非强占有有限优先权 M/M/n/m 排队论模型,该模型通过区别不同业务的流量,兼顾考虑了不同优先级业务的公平性,以解决高优先级业务长期霸占网络资源而低优先级业务迟迟得不到服务的问题。仿真实验表明,在网络流量较大时,模型中高优先级顾客的平均排队等待时间变化不大,低优先级顾客的平均排队等待时间显著降低,保证了网络服务的公平分配。

**关键词** Mesh, QoS, 排队论, 区分服务

**中图分类号** TP393 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2014.08.030

## Research on Wireless Mesh Network QoS Based on M/M/n/m Model under Non-preemptive Limited-priority

ZHANG Ting LI Tao-shen GE Zhi-hui

(School of Computer, Electronics and Information, Guangxi University, Nanning 530004, China)

**Abstract** According to the multi-hop characteristics of the wireless Mesh network, simple M/M/1 queuing theory model can not describe the performance of the Mesh network very well. By using M/M/n/m queue theory to solve wireless Mesh network traffic modeling problem, this paper presented a finite non-preemptive priority M/M/n/m queuing model based on wireless Mesh networks. It can solve the problem that high-priority right business occupies network resources for a long time while low priority business is delayed in services, by distinguishing different business traffic and considering fairness of different priorities. Simulation experiments show that when network traffic is bigger, the average waiting time of high-priority customers changes little, and the average waiting time of the second priority customers is significantly reduced, thus ensuring the equitable distribution of network services.

**Keywords** Mesh, QoS, Queuing theory, Distinction between services

无线 Mesh 网络是由 Ad hoc 网络发展而来的一种全新的网络,具有自组织、自配置、自愈等优点<sup>[1-4]</sup>。随着科技的进步,无线 Mesh 网络的结构变得越来越复杂,根据网络的特性对其建模和仿真,成为了研究的重点。排队论因其在网络性能评价和网络规划方面的广泛应用和良好契合,受到研究者的欢迎。

文献[5]利用排队论建立了延时模型,对网络中的延时以及吞吐量进行了分析和评估,并通过仿真实验验证了模型的可用性。无线 Mesh 网络的流量总是由最外层向网关进行汇聚。根据这一特点,文献[6]把网关上的缓存设为无穷大,把网关节点建模成一个 M/D/1 队列系统的服务站,分析了无线 Mesh 网络的延迟和吞吐量。文献[7]利用 M/M/1/K 排队模型以及连续时间马尔科夫链,定量评估了网络可靠性。Bisnik 和 Abouzeid<sup>[8,9]</sup>综合考虑了节点的分布密度、流量的分布情况,利用排队论将网络建模成一个 G/G/1 队列模型。无线 Mesh 网络是一种多跳的多网关的结构,以网关为中心的单跳模型并不能完全描述实际情况,文献[10]依据 Mesh 网络中第  $n$  层节点总是为第  $n+1$  层节点提供流量中转服务,把

整个网络看成是若干 M/M/n/m 排队论系统的组合,从而优化网络资源配置。

但是,随着网络的发展,无线 Mesh 网络的业务从单一的数据业务,发展到现在的语音、视频等多媒体业务,而以上研究都没有考虑不同业务的优先级。文献[11,12]从业务角度出发,提出具有优先权的排队论模型,以尽可能地保证高优先级业务的通信。但是,在具有优先权的排队系统中,当网络负载增加时,有优先权的顾客会过度占用系统资源,无优先权顾客的平均等待时间就会大大延长,甚至产生严重的队列拥塞,导致系统崩溃。

本文在以上研究的基础上,对优先级业务进行限制,提出非强占有有限优先权的 M/M/n/m 排队论模型,用以准确分析 Mesh 网络的性能,提高网络效能,保证业务间的公平性。

## 1 系统模型

### 1.1 系统假设

(1)假设系统中有高优先级和低优先级两类顾客。当高优先级顾客到达系统时,如果服务台正忙,就排在比它优先级

到稿日期:2013-10-25 返修日期:2014-02-19 本文受国家自然科学基金(61363067, 60963022),广西自然科学基金(2012GXNSFA A053226)资助。

张 挺(1988-),男,硕士,主要研究方向为无线网络,E-mail:zhtwylgx@163.com;李陶深(1957-),男,博士,教授,主要研究方向为分布式数据库、无线 Mesh 网络、云计算、网络与信息安全;葛志辉(1978-),男,博士,教授,主要研究方向为无线网络、移动计算。

低的客户前等待服务,不能强占服务台。

(2)第*i*级顾客到来的间隔均服从参数为 $\lambda_i$ 的泊松分布,其中 $\lambda_i$ 为第*i*级顾客的平均到达率, $i=1,2$ 。服务台为每一级别顾客服务的时间均服从参数为 $\mu$ 的负指数分布,其中 $\mu$ 为平均服务率。

(3)顾客加入队列的概率为 $\alpha_k$  ( $0 < \alpha_k < 1$ ),且 $\alpha_k$ 是依赖于等待队长 $k$ 的。 $\lambda_i^* = \alpha_k \lambda_i$ 表示第*i*类顾客单位时间内加入队列的顾客数。 $\bar{S}_i = \frac{1}{n\mu}$ 为第*i*级顾客所需的服务时间,其中 $i=1,2,\dots,n$ 为服务台数, $\rho = \rho_1 + \rho_2 = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{n\mu}$ 为系统的业务量。

## 1.2 模型建立

当系统达到平稳时,两级顾客的平均排队等待时间可以分两种情况讨论:即到达系统的是第一优先级顾客和到达系统的是第二优先级顾客。

(1)到达系统的是第一优先级顾客的情况

如果考虑到达系统的是第一优先级顾客的情况,则顾客在系统中的平均排队等待时间可以分3种情况来讨论。

1)队列中第二优先级顾客足够按间隔 $num$ 插队排队的情况

此时第一优先级顾客的平均排队等待时间为 $W_{q11}$ ,其加入队列等待排队的概率为 $\alpha_k$ ,故此时刻的到达率为 $\alpha_k \lambda_1$ 。假设等待服务的第一优先级顾客平均人数为 $L_{q11}$ ,则它在系统中所用的平均排队等待时间由两部分组成:即到达顾客前的顾客的平均服务时间之和 $T_1$ 和等待服务台空闲出来的平均时间 $T_2$ 。

i)第一优先级顾客到达系统后,它会被插入队列中,此时排在它前面的顾客数可以近似看作是等待服务的第一优先级顾客数。即有:

$$T_1 = \bar{S}_1 L_{q11} = \frac{\alpha_k \lambda_1 W_{q11}}{n\mu} = \alpha_k \rho_1 W_{q11} \quad (1)$$

因为是非强占排队系统,所以顾客到达系统时,它要等待服务台完成当前服务任务后才能为它服务,通常称这段等待时间为剩余服务时间,记作 $S_e$ ,其均值为 $\bar{S}_e = E(S_e)$ 。由于顾客到达时占用服务台的顾客可以是任一级的顾客,故在计算 $\bar{S}_e$ 时,由系统的服务时间分布参数 $\mu$ 的指数分布来计算。设系统的平均服务时间为 $\bar{S} = \frac{\alpha_k}{n\mu}$ ,方差为 $\sigma^2$ ,则

$$\bar{S}_e = \frac{\sigma^2 + (\bar{S})^2}{2\bar{S}} = \frac{(n\mu)^2 \sigma^2 + \alpha_k^2}{2n\mu\alpha_k} \quad (2)$$

ii)由于顾客到达系统后,服务台正忙,即业务量为 $\rho$ ,因此等待服务台空闲出来的平均时间 $T_2$ 为:

$$T_2 = \rho \bar{S}_e = \rho \frac{(n\mu)^2 \sigma^2 + \alpha_k^2}{2n\mu\alpha_k} \quad (3)$$

故此时的第一优先级顾客平均排队等待时间 $W_{q11}$ 为:

$$W_{q11} = \alpha_k \rho_1 W_{q11} + \rho \frac{(n\mu)^2 \sigma^2 + \alpha_k^2}{2n\mu\alpha_k} \quad (4)$$

2)队列中第二优先级顾客不足以按照间隔 $num$ 进行插队的情况

在第一优先级顾客等待服务时,陆续到达的第二优先级顾客仍然不足以按照间隔 $num$ 进行插队。假设第一优先级顾客的平均排队等待时间是 $W_{q21}$ ,等待服务的第一优先级顾客平均人数为 $L_{q21}$ ,此时平均等待排队时间由3部分组成:

i)等待排在前面的顾客服务的平均服务时间之和 $T_1$ 。

此时队列中第二优先级顾客很少,所以可以忽略,排在达到顾客前面的顾客数可以近似地看成等待服务的第一优先级顾客数。即有:

$$T_1 = \frac{\alpha_k \lambda_1 W_{q21}}{n\mu} = \alpha_k \rho_1 W_{q21} \quad (5)$$

ii)等待服务台空出来的平均时间 $T_2$ :

$$T_2 = \rho \bar{S}_e = \rho \frac{(n\mu)^2 \sigma^2 + \alpha_k^2}{2n\mu\alpha_k} \quad (6)$$

iii)在到达顾客排队时陆续到来的次优先级顾客插队排在前面所需的排队等待时间之和 $T_3$ 。在等待期间,第二优先级顾客到达的平均人数为 $W_{q21} \lambda_2 \alpha_k$ ,所以有:

$$T_3 = W_{q21} \lambda_2 \alpha_k E(S_2) = W_{q21} \rho_2 \alpha_k \quad (7)$$

故此时的第一优先级顾客平均排队等待时间 $W_{q21}$ 为:

$$W_{q21} = W_{q21} \rho_1 \alpha_k + \rho \frac{(n\mu)^2 \sigma^2 + \alpha_k^2}{2n\mu\alpha_k} + W_{q21} \rho_2 \alpha_k \quad (8)$$

3)第二优先级顾客不足以按 $num$ 进行插队,但在第一优先级顾客排队过程中陆续到达的第二优先级顾客足够进行插队的情况

此时,假设第一优先级顾客的平均排队等待时间是 $W_{q31}$ ,等待服务的第一优先级顾客平均人数为 $L_{q31}$ ,此时,平均排队等待时间由3部分组成:

i)正在排队等待排在前面所有顾客的平均服务时间之和 $T_1$ 。如同上一种情况,排在前面的顾客数可近似地看作是等待服务的第一优先级顾客数。即

$$T_1 = \bar{S}_1 L_{q31} = W_{q31} \rho_1 \alpha_k \quad (9)$$

ii)等待服务台空出来的平均时间 $T_2$ :

$$T_2 = \rho \bar{S}_e = \rho \frac{(n\mu)^2 \sigma^2 + \alpha_k^2}{2n\mu\alpha_k} \quad (10)$$

iii)在等待服务期间陆续到达的第二优先级顾客插队所耽误的时间 $T_3$ 。第二优先级顾客插入到队列之前的平均人数为队列中所需的第二优先级顾客数减去队列中已经有的第二级顾客数,即 $(\frac{\alpha_k \lambda_1 W_{q31}}{num} - \alpha_k \lambda_2 W_{q32})$ 。因此有:

$$T_3 = \frac{W_{q31} \rho_1 \alpha_k}{num} - W_{q32} \rho_2 \alpha_k \quad (11)$$

故此时的第一优先级顾客平均排队等待时间 $W_{q31}$ 为:

$$W_{q31} = W_{q31} \rho_1 \alpha_k + \rho \frac{(n\mu)^2 \sigma^2 + \alpha_k^2}{2n\mu\alpha_k} + \frac{W_{q31} \rho_1 \alpha_k}{num} - W_{q32} \rho_2 \alpha_k \quad (12)$$

(2)到达系统的是第二优先级顾客的情况

此时的平均排队等待时间也分为3种情况。

1)队列中第二优先级顾客不足以按间隔 $num$ 进行插队的情况

假设第二优先级顾客的平均排队等待时间是 $W_{q42}$ ,排队等待服务的第二优先级顾客平均人数为 $L_{q42}$ 。因为队列中第二优先级顾客不足,顾客到达后会进行插队,等待排在它前面的全部第二优先级顾客和相应数量的第一优先级顾客服务完。在它前面的第二优先级顾客平均排队等待时间为 $\bar{S}_2 L_{q42} = W_{q42} \lambda_2 \alpha_k$ ,第一优先级顾客排队等待时间为 $\bar{S}_1 L_{q41} = num W_{q41} \lambda_1 \alpha_k$ 。一般情况下,第一优先级顾客数不会正好是第二优先级顾客数的 $num$ 倍,会多出 $c$  ( $0 < c < num$ )个第一优先级顾客,被服务的时间为 $\frac{c}{n\mu}$ 。因此有:

$$T_1 = (num + 1) W_{q42} \rho_2 \alpha_k + \frac{c}{n\mu} \quad (13)$$

其中,  $c$  可以用系统概率法计算, 第一优先级顾客出现 1 个的概率为  $\rho_1$ , 第二优先级顾客出现 1 个的概率为  $\rho_2$ , 即  $c = \sum_{i=1}^{num} (i-1)\rho_1^i + \alpha\rho_2$ .

等待服务台空出来的平均时间  $T_2$  为:

$$T_2 = \rho \bar{S}_e = \rho \frac{(n\mu)^2 \sigma^2 + \alpha_k^2}{2n\mu\alpha_k} \quad (14)$$

此时的第二优先级顾客的平均排队等待时间  $W_{q12}$  为:

$$W_{q12} = (num+1)W_{q12}\rho_2\alpha_k + \frac{c}{n\mu} + \rho \bar{S}_e \quad (15)$$

2) 队列中第二优先级顾客足够按间隔  $num$  插队排队的情况

第二优先级顾客在等待期间, 第一优先级顾客陆续到达后, 第二优先级顾客依然足够按间隔  $num$  插队。假设第二优先级顾客的平均排队等待时间是  $W_{q5i}$ , 等待服务的第二优先级顾客平均人数为  $L_{q5i}$ , 这种情况下, 平均排队等待时间由 3 部分组成:

i) 队列中正在排队等待服务的第一优先级、第二优先级顾客的平均服务时间之和  $T_1$  为:

$$T_1 = \bar{S}_1 L_{q51} + \bar{S}_2 L_{q52} = \alpha_k \frac{\lambda_1}{n\mu} W_{q51} + \alpha_k \frac{\lambda_2}{n\mu} W_{q52} \quad (16)$$

ii) 等待服务台空闲出来的平均时间  $T_2$  为:

$$T_2 = \rho \bar{S}_e = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{n\mu} \bar{S}_e \quad (17)$$

iii) 在新到的第二优先级顾客排队等待时间内, 陆续到达的第一优先级顾客优先插队造成的平均耽误时间之和为  $T_3$ 。新到的第二优先级顾客所需平均排队等待时间为  $W_{q52}$ , 同时, 第一优先级顾客到达的平均人数为  $W_{q52}\lambda_1\alpha_k$ , 其需要的平均服务时间  $T_3$  为:

$$T_3 = W_{q51}\rho_1\alpha_k \quad (18)$$

故此时的第二优先级顾客平均排队等待时间  $W_{q52}$  为:

$$W_{q52} = \alpha_k \sum_{i=1}^2 \rho_i W_{q5i} + \rho \bar{S}_e + \alpha_k W_{q52}\rho_1 \quad (19)$$

3) 第二优先级顾客足以按照间隔  $num$  进行插队, 但在排队等待期间, 第一优先级顾客陆续到达后, 次优先级顾客不足以按照  $num$  进行插队的情况

此时, 假设第二优先级顾客的平均排队等待时间是  $W_{q62}$ , 等待服务的第二优先级顾客平均人数为  $L_{q62}$ , 这种情况下, 平均等待排队时间由 3 部分组成:

i) 队列中正在排队等待服务的第一优先级、第二优先级顾客的平均服务时间之和  $T_1$  为:

$$T_1 = \bar{S}_1 L_{q61} + \bar{S}_2 L_{q62} = \alpha_k \frac{\lambda_1}{n\mu} W_{q61} + \alpha_k \frac{\lambda_2}{n\mu} W_{q62} \quad (20)$$

ii) 等待服务台空出来的平均时间  $T_2$  为:

$$T_2 = \rho \bar{S}_e = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{n\mu} \bar{S}_e \quad (21)$$

iii) 在第二优先级顾客排队等待期间, 陆续到达的第一优先级顾客插队所造成的耽误时间为  $T_3$ 。顾客数分为两部分: 一是队列里第一优先级顾客数减去已有的一级顾客数, 即  $(numL_{q62} - L_{q61})$ ; 二是多余的  $c$  个插队的一级顾客。

$$T_3 = numW_{q62}\rho_2\alpha_k - W_{q61}\rho_1\alpha_k + \frac{c}{n\mu} \quad (22)$$

故此时的第二优先级顾客平均排队等待时间  $W_{q62}$  为:

$$W_{q62} = (1+num)W_{q62}\alpha_k\rho_2 + \frac{c}{n\mu} + \rho \bar{S}_e \quad (23)$$

综上所述, 因为  $W_{q12} = W_{q32}$ ,  $W_{q51} = W_{q11}$ , 可得:

$$\begin{cases} W_{q11} = \rho \frac{(n\mu)^2 \sigma^2 + \alpha_k^2}{2n\mu\alpha_k(1-\alpha_k\rho_1)} \\ W_{q21} = \rho \frac{(n\mu)^2 \sigma^2 + \alpha_k^2}{2n\mu\alpha_k\alpha_k(1-\rho_1-\rho_2)} \\ W_{q31} = \rho \frac{(n\mu)^2 \sigma^2 + \alpha_k^2 - 2n\mu W_{q32}\rho_2\alpha_k^2}{2n\mu\alpha_k(1-\alpha_k\rho_1(1+\frac{1}{num}))} \end{cases} \quad (24)$$

$$\begin{cases} W_{q42} = \frac{\rho(n\mu)^2 \sigma^2 + 2\alpha_k c + \rho\alpha_k^2}{2n\mu\alpha_k(1-\alpha_k(num+1)\rho_2)} \\ W_{q52} = \frac{\rho(n\mu)^2 \sigma^2 + \rho\alpha_k^2 + 2n\mu\alpha_k^2\rho_1 W_{q51}}{2n\mu\alpha_k(1-\alpha_k(\rho_2+\rho_1))} \\ W_{q62} = \frac{\rho(n\mu)^2 \sigma^2 + \rho\alpha_k^2 + 2\alpha_k c}{2n\mu\alpha_k(1-\alpha_k(1+num)\rho_2)} \end{cases} \quad (25)$$

系统平稳时,  $\lambda^* = \alpha_k\lambda$  表示单位时间内加入队列的顾客数, 服务台繁忙时的概率为:  $\rho^* = \frac{\lambda^*}{n\mu}$ , 系统内有  $m$  个第  $i$  优先级顾客数的概率为  $P(L_{qi} = m) = (\rho_i^*)^m (1 - \rho_i^*)$ 。  $L_{q1}$ ,  $L_{q2}$  分别为系统内第一优先级、第二优先级顾客的排队等待平均人数, 因此第二优先级顾客不足以按间隔  $num$  插队的概率  $P_4$  为:

$$P_4 = P(L_{q1} > numL_{q2}) = \frac{1 - \rho_2^*}{1 - (\rho_1^*)^{num}\rho_2^*} \quad (26)$$

第二优先级顾客足以按间隔  $num$  插队的概率  $P_1$  为:

$$P_1 = P(L_{q1} \leq numL_{q2}) = 1 - \frac{1 - \rho_2^*}{1 - (\rho_1^*)^{num}\rho_2^*} \quad (27)$$

第二优先级顾客不足以按间隔  $num$  插队, 但在排队等待期间, 陆续到达的第二优先级顾客(人数为  $\frac{\rho_1^*}{\rho_2^*}L_{q1}$ ) 仍然不足以按间隔  $num$  进行插队。因此排队等待的顾客要满足  $L_{q1}(1 - \frac{\rho_2^*}{\rho_1^*}num) \geq numL_{q2}$  即  $(1 - \frac{\rho_2^*}{\rho_1^*}num) \geq 0$ , 所以此情形下概率  $P_2$  为:

$$P_2 = \frac{1 - \rho_2^*}{\frac{num\rho_1^*}{1 - (\rho_1^*)^{\rho_1^* - num\rho_2^*}} \rho_2^*} \quad (28)$$

$$P_3 = 1 - P_1 - P_2 \quad (29)$$

第二优先级顾客足以按间隔  $num$  进行插队, 在排队等待期间, 第一优先级顾客(人数为  $\frac{\rho_1^*}{\rho_2^*}L_{q2}$ ) 陆续到达, 排队等待的顾客满足:  $L_{q1} + \frac{\rho_1^*}{\rho_2^*}L_{q2} < numL_{q2}$ , 即  $num - \frac{\rho_1^*}{\rho_2^*} > 0$ 。此情形的概率  $P_5$  近似为:

$$P_5 = P((num - \frac{\rho_1^*}{\rho_2^*}) > 0) = 1 - \frac{1 - \rho_2^*}{1 - (\rho_1^*)^{num - \frac{\rho_1^*}{\rho_2^*}} \rho_2^*} \quad (30)$$

$$P_6 = 1 - P_4 - P_5 \quad (31)$$

综上所述:

$$\begin{cases} P_1 = 1 - \frac{1 - \rho_2^*}{1 - (\rho_1^*)^{num}\rho_2^*} \\ P_2 = \begin{cases} \frac{1 - \rho_2^*}{\frac{num\rho_1^*}{1 - (\rho_1^*)^{\rho_1^* - num\rho_2^*}} \rho_2^*}, \lambda_1 > num\lambda_2 \\ 0, \lambda_1 \leq num\lambda_2 \end{cases} \\ P_3 = \begin{cases} \frac{1 - \rho_2^*}{1 - (\rho_1^*)^{num}\rho_2^*} - \frac{1 - \rho_2^*}{1 - (\rho_1^*)^{\rho_1^* - num\rho_2^*} \rho_2^*}, \lambda_1 > num\lambda_2 \\ \frac{1 - \rho_2^*}{1 - (\rho_1^*)^{num}\rho_2^*}, \lambda_1 \leq num\lambda_2 \end{cases} \end{cases}$$

$$\begin{cases}
 P_4 = \frac{1 - \rho_2^*}{1 - (\rho_1^*)^{num} \rho_2^*} \\
 P_5 = \begin{cases} \frac{1 - \rho_2^*}{1 - (\rho_1^*)^{num} \rho_2^*}, \lambda_1 < num\lambda_2 \\ 0, \lambda_1 \geq num\lambda_2 \end{cases} \\
 P_6 = \begin{cases} \frac{1 - \rho_2^*}{1 - (\rho_1^*)^{num} \rho_2^*} - \frac{1 - \rho_2^*}{1 - (\rho_1^*)^{num} \rho_2^*}, \lambda_1 < num\lambda_2 \\ 1 - \frac{1 - \rho_2^*}{1 - (\rho_1^*)^{num} \rho_2^*}, \lambda_1 \geq num\lambda_2 \end{cases}
 \end{cases}$$

第一优先级顾客和第二优先级顾客的平均排队时间为:

$$\begin{cases}
 W_{q1} = W_{q11} P_1 + W_{q21} P_2 + W_{q31} P_3 \\
 W_{q2} = W_{q42} P_4 + W_{q52} P_5 + W_{q62} P_6
 \end{cases} \quad (32)$$

## 2 实验与分析

为了验证提出的模型的正确性并分析其性能,使用 Matlab2010a 来进行仿真模拟实验。实验开始时,平均服务率  $\mu$  设为 50,服务台数  $n$  设为 4,加入队列等待排队的概率为  $\alpha_k$  设为 1,当  $\alpha_k=1$  时,由于服务时间服从指数分布,因此服务时间方差  $\sigma^2=0$ 。

实验中取极限情况下的  $num$  值,当  $num=\infty$  时,此模型可以看成是非强占优先权 M/M/n/m 模型。我们把  $num$  的值设置为 10000,将实验结果与非强占优先权 M/M/n/m 模型进行对比,结果如图 1 所示,两种模型的两条曲线几乎完全重合,从而实际验证了本文模型的正确性,而存在的差异是由于  $num$  的取值与无穷大的理论值的差异造成的。

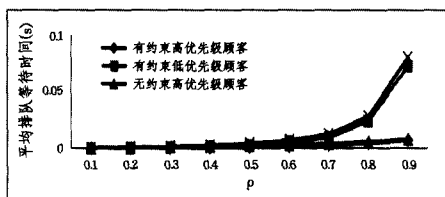


图 1  $num=10000$  与  $num=\infty$  时两级顾客排队等待时间

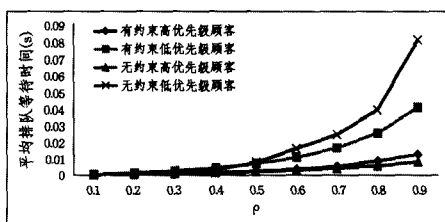


图 2 两种模型两级顾客排队等待时间对比

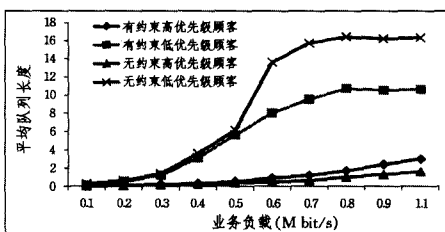


图 3 两种模型两级顾客的平均队列长度

图 2 为本文模型与非强占优先权 M/M/n/m 模型两级顾客平均排队等待时间的对比。实验设定低优先级顾客的插队间隔为  $num=3$ 。由图可以看出在系统强度  $\rho$  值大于 0.6 后,本文模型中的低优先级顾客的平均等待时间明显小于非强占

优先权 M/M/n/m 模型中的平均等待时间,而高优先级顾客的平均排队等待时间并没有显著增加。在  $\rho$  值较小时,进入队列的顾客可以及时得到服务,所以有约束和无约束的两类顾客的曲线基本重合。

图 3 为两种模型两类顾客的平均队列长度的对比。实验设定节点的通过率为 300,可以看出随着业务负载的加大,无约束的低优先级顾客的队长明显大于有约束的低优先级顾客。而在业务负载达到 0.7Mbit/s 后,由于节点缓存的限制,队列长度趋于平稳,达到饱和。

以上实验体现了本文模型设计思想:对高优先级顾客进行适当限制,允许低优先级顾客进行插队,从而保证高负载条件下的低优先级顾客服务占用率,保证了两种优先级顾客间的公平性。

**结束语** 本文从用户感知流量的角度出发,区别不同业务的流量,并用排队论对系统进行建模,很好地兼顾了不同优先级业务的公平性,保证了服务质量。但是,本文提出的非强占有限优先 M/M/n/m 模型比较复杂,还有待于我们进一步加以改进。

## 参考文献

- [1] Gore A D, Karandikar A. Link Scheduling Algorithms for Wireless Mesh Networks [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2011, 13(2): 258-277
- [2] Zhou Jia-zhen, Mitchell K, Hu R Q, et al. Analysis of express forwarding schemes in wireless mesh networks [C]// 2012 1st IEEE International Conference on Communications in China (ICCC). 2012: 167-172
- [3] Hoblos J. Improving Throughput and Fairness in multi-hop wireless mesh networks using adaptive contention window algorithm (ACWA)[C]// Proceedings of the 2011 7th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM). Wuhan, China, 2011
- [4] Pervaiz H. A Multi-criteria Decision Making (MCDM) Network Selection Model Providing Enhanced QoS Differentiation to Customers [C]// International Conference on Multimedia Computing and Information Technology (MCIT). March 2010: 49-52
- [5] 郭虹, 兰巨龙, 程东年, 等. Ad hoc 网络中端到端通信性能定量评估建模分析[J]. 信息工程大学学报, 2010, 11(1): 11-16
- [6] Wu X, Liu J, Chen G. Analysis of Bottleneck Delay and Throughput in Wireless Mesh Networks [C]// MASS. 2006: 765-770
- [7] 郭中华, 史浩山, 王庆文. 一种用于无线 Ad hoc 网络性能评估的排队模型[J]. 西北工业大学学报, 2010, 28(4): 564-569
- [8] Bisnik N, Abouzeid A. Queuing Delay and Achievable Throughput in Random Access Wireless Ad Hoc Networks [C]// IEEE SECON 3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad hoc Communications and Networks. 2006: 847-880
- [9] Bisnik N, Abouzeid A. Delay and Throughput in Random Access Wireless Mesh Networks [C]// IEEE ICC. 2006: 403-408
- [10] Feng Yun-xia, Li Ming-lu, Wu Min-you. Efficient Broadcasting in Interface Switching Wireless Networks [C]// The International Conference on High Performance Switching and Routing (IEEE HPSR). Shanghai, China, May 2008
- [11] Dong Chao, Chen Gui-hai, Wang Hai. Research of QoS on Wireless Mesh Networks [J]. Journal of Software, 2009, 20(6): 1539-1552
- [12] Kamali S H, Hedayati M, Izadi A S, et al. The Monitoring of the Network Traffic Based on Queuing Theory and Simulation in Heterogeneous Network Environment [C]// International Conference on Computer Technology and Development. 2009: 322-326