

一种 IEEE 802.11 MAC协议的包延时数学分析模型

张锐, 钱渊, 傅珂

(空军工程大学电讯工程学院, 陕西西安 710077)

摘要: 提出了一种新的数学分析模型, 用于计算 IEEE 802.11 协议的平均包延时。通过与基于 OPNET 的仿真结果比较, 证实该分析是有效的。分析结果证实, 相对于基本访问机制, 采用 RTS/CTS 媒体访问机制将获得较低的包延时, 对于合理采用 RTS/CTS 机制、显著提高 IEEE 802.11 WLAN 性能具有重要意义。

关键词: 数学分析; 模型; 包延时

中图分类号: TN91 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2005)05-0067-03

在数据通信和网络领域中,为了解决现代无线连接的需求,IEEE 工作组提出了 802.11 协议。IEEE 802.11 协议是一种基于二进制指数退避的载波侦听多址访问/冲突避免(CSMA/CA) MAC 协议。访问媒体的基本机制称为分布式协调功能(DCF),DCF 定义了两种包传输的访问机制,即基本访问和请求发送/清除发送(RTS/CTS)。需要发送包的移动站侦听媒体状态,如果媒体空闲,则发送包;如果媒体忙,则继续检测媒体状态,直到检测到一个至少达到分布式帧间隔(DIFS)的媒体空闲期。为了尽量避免碰撞,所有的移动站在完成发送后,必须在等待一段随机退避(Random back-off)间隔时间后才能发送新的数据包。如果碰撞的概率大,并且包的长度大于门限值,可使用 RTS/CTS 预留方案。在该方案中,短 RTS 和 CTS 包被调换,从而预留媒体优先权来发送长数据包。

基于以上原理,本文提出了一种数学分析方法,用来计算两种媒体访问机制的平均包延时。该方法扩展了文献[1~2]提出的逼近算法,利用同一个马尔可夫链模型计算平均包延时。得到的结论是,当设定门限包大小高于平均值时,使用 RTS/CTS 机制优于基本访问。由于 RTS/CTS 的效率取决于包碰撞的概率,包碰撞的概率随着网络的扩大而增大,因此需要评估 RTS/CTS 对网络大小依赖的门限。此外,还要确定在何种网络和通信条件下,采用 RTS/CTS 机制能提高 IEEE 802.11 MAC 协议性能。

1 退避争用窗口马尔可夫链模型的建立与分析

假定:①网络中包含 n 个移动站;②每个移动站总是有一个需发送的包;③已发送包的碰撞概率 p 是常数,并与过去重发该包所经历的情况无关。初始化包发送之前,移动站的退避计时器值统一在 $[0, W_i - 1]$ 范围内取值,这里 W_i 是当前争用窗口大小, i 是退避级数。若有 $W_i = 2^i W_{\min}, i \in [0, m], W_{\min}$ 是当前争用窗口的最小值, m 是退避级数的最大值,则当前争用窗口的最大值 $W_{\max} = 2^m W_{\min}$ 。在首次尝试发送一个包时令, $W_0 = W_{\min}$ 。在一次发送失败后, W_i 增加到最大值 W_{\max} 。根据 IEEE 802.11b 标准^[2], $W_{\min} = 32, W_{\max} = 1024, m = 5$ 。在时刻 t 和给定的一个移动站,以 $b(t)$ 表示其退避计时器, $s(t)$ 表示退避级数。图 1 所示的离散时间马尔可夫链用于表示两维过程 $\{b(t), s(t)\}$ 。假设马尔可夫链静态分布为 $b_{i,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{s(t) = i, b(t) = k\}$, 其中 $i \in [0, m], k \in [0, W_i - 1]$ 。利用马尔可夫链,一个移动站在随机选取的时隙中发送包的概率 τ 可表示为

$$\tau = \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \quad (1)$$

收稿日期:2005-03-21

作者简介:张锐(1975-),男,陕西汉中,讲师,硕士,主要从事网络组网及网络工程技术研究。

则一个已发送包遭遇一次碰撞的概率 p 为

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \tag{2}$$

式(1)和式(2)构成一个非线性系统,其中的两个未知参数 τ 和 p 可通过数学方法求解。

通过吞吐量分析^[1-2],计算饱和吞吐量 S ,它是系统在稳定条件下能运载的最大负荷。 S 可利用一个时隙内发送的净荷信息除以一个时隙的平均长度得到。

$$S = \frac{P_r P_s l}{E[T]} = \frac{P_r P_s l}{(1 - P_r)\sigma + P_r P_s T_s + P_r (1 - P_s) T_c} \tag{3}$$

式中, $E[T]$ 是一个时隙的平均长度, σ 是一个空闲时隙的持续时间, P_r 是在一个随机选定的时隙内至少发送一个包的概率, P_s 是一个包发送成功的概率, T_c 和 T_s 分别是因碰撞或发送成功而监听到媒体忙的平均持续时间。概率 P_r 和 P_s 如式(4)所示。

$$P_r = 1 - (1 - \tau)^n ; P_s = \frac{n\tau(1 - \tau)^{n-1}}{1 - (1 - \tau)^n} \tag{4}$$

分析的目的是为了计算成功发送一个包的平均延时,包延时是指一个在 MAC 队列头部的包,从准备发送到被目的站成功接收的时间间隔。 $E[D]$ 可表示为

$$E[D] = E[X]E[T] \tag{5}$$

式中, $E[X]$ 是时隙数量的平均数(在这些时隙内,均成功发送了包)。 $E[X]$ 可以由 d_i (时隙数量,在这些时隙内,每一个退避级中包均被延时)与 q_i (达到此退避级的概率)的乘积得到。

$$E[X] = d_i q_i \tag{6}; \quad d_i = \frac{W_i + 1}{2} \quad i \in [0, m] \tag{7}; \quad q_i = \begin{cases} p^i & i \in [0, m - 1] \\ \frac{p^m}{1 - p} & i = m \end{cases} \tag{8}$$

在进行一些代数运算后, $E[X]$ 可进一步表示为

$$E[X] = \frac{(1 - 2p)(W + 1) + pW(1 - (2p)^m)}{2(1 - 2p)} \tag{9}$$

2 基于 OPNET 的仿真结果分析

图 2 显示了平均包延时和吞吐量效率与移动站数量(包大小 $l = 8184$ bit)的关系。该图验证了上述数学分析,数学分析的结果(图中以符号点表示)和仿真结果(图中以线表示,通过用 OPNETTM 仿真包建立的 IEEE 802.11 仿真器得到)完全重合。图 2 还显示出,对于特定的大尺寸包,采用 RTS/CTS 机制比采用基本访问机制将获得较低的延时和较高的吞吐量,碰撞持续时间也较短。

图 3 所示为对于 3 种典型的网络规模(移动站数量 $n = 5, 25$ 和 50),在基本访问和 RTS/CTS 两种情况下平均包延时与包大小的对应关系。图中分析给出了门限值,当高于此门限值时,RTS/CTS 机制的性能有显著的提升。若参与竞争的移动站数量相对较小($n = 5$),对于所有包大小值,基本访问的包延时与 RTS/CTS 机制相同。这表明,在碰撞概率低的小规模网络中,采用 RTS/CTS 机制没有优越性。相反,当网络规模 n 增加到 25 个移动站,并且包大小超过一个特定的门限(1 900 bit)时,RTS/CTS 机制将比基本访问获得较低的包延时值。

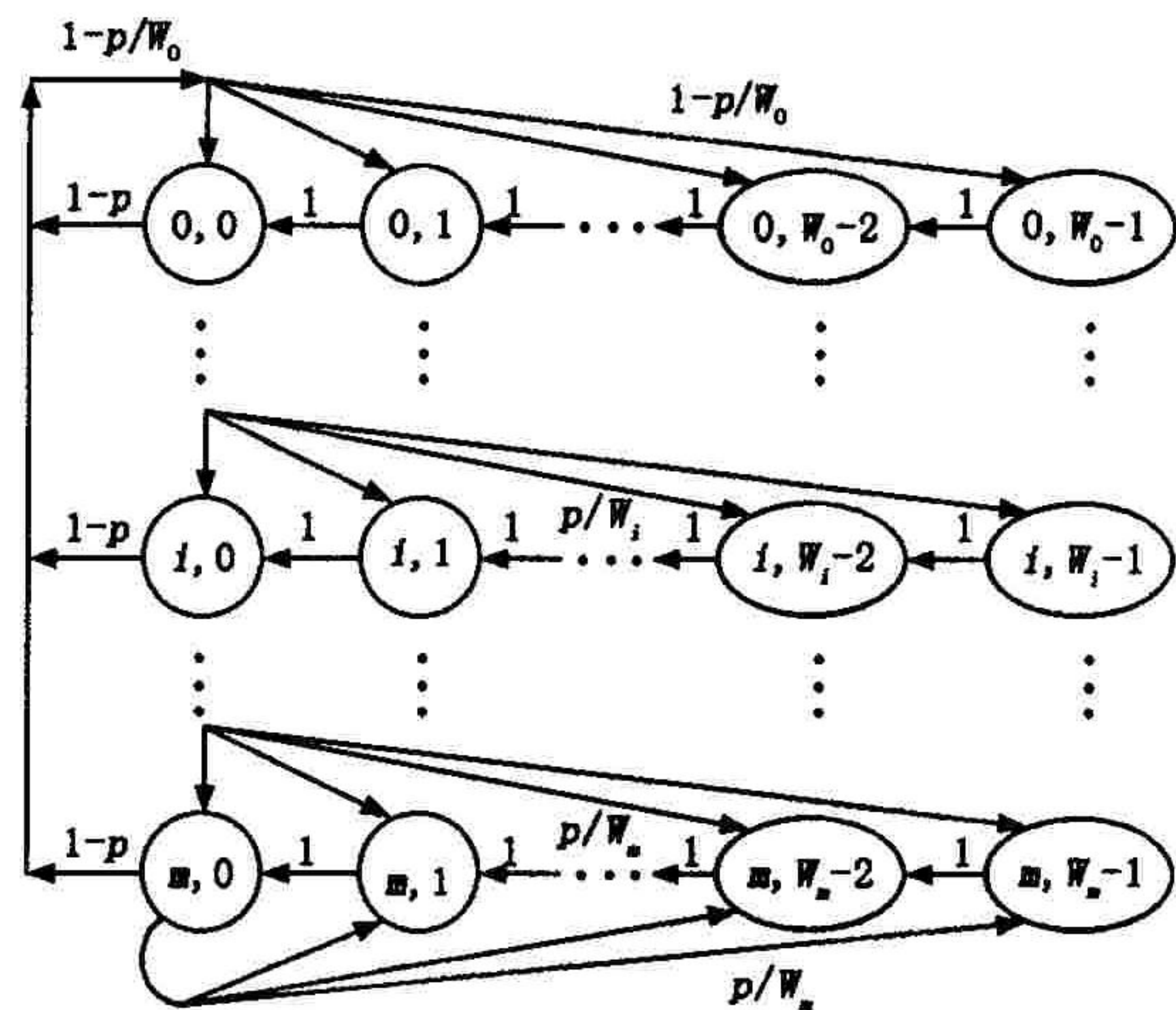
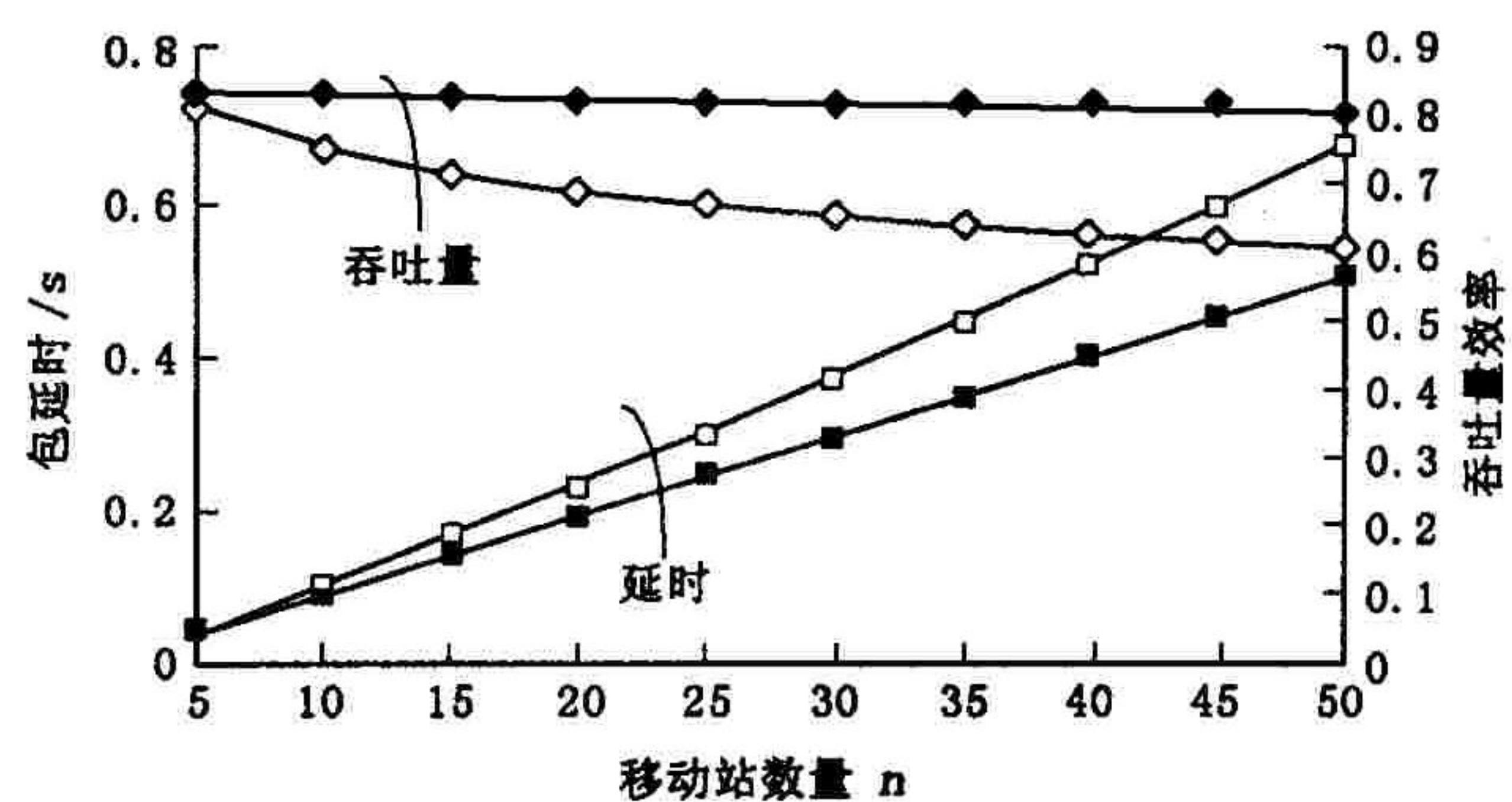


图 1 退避争用窗口的马尔可夫链模型



◆ 采用 RTS/CTS 机制下的吞吐量效率 ■ 采用 RTS/CTS 机制下的包延时
◇ 采用基本访问机制下的吞吐量效率 □ 采用基本访问机制下的包延时

图 2 包延时和吞吐量效率与移动站数量 n 的对应关系
($W = 32, l = 8184$ bit, $m = 5, C = 1$ Mbit/s)

3 结束语

通过对 IEEE 802.11 MAC 协议包的研究,提出了一种新的分析模型,用于计算 IEEE 802.11 协议的平均包延时。通过与基于 OPNET 的仿真结果比较,证实该数学分析模型是有效的。协议性能结果显示,对于小规模网络,RTS/CTS 机制不能显著降低包延时。然而,对于大规模网络想定,RTS/CTS 机制比基本访问机制更为有效,可以获得较低的包延时值,特别是在发送长包的情况下。这些结论对于合理采用 RTS/CTS 机制,显著提高 IEEE 802.11 WLAN 性能具有重要意义。

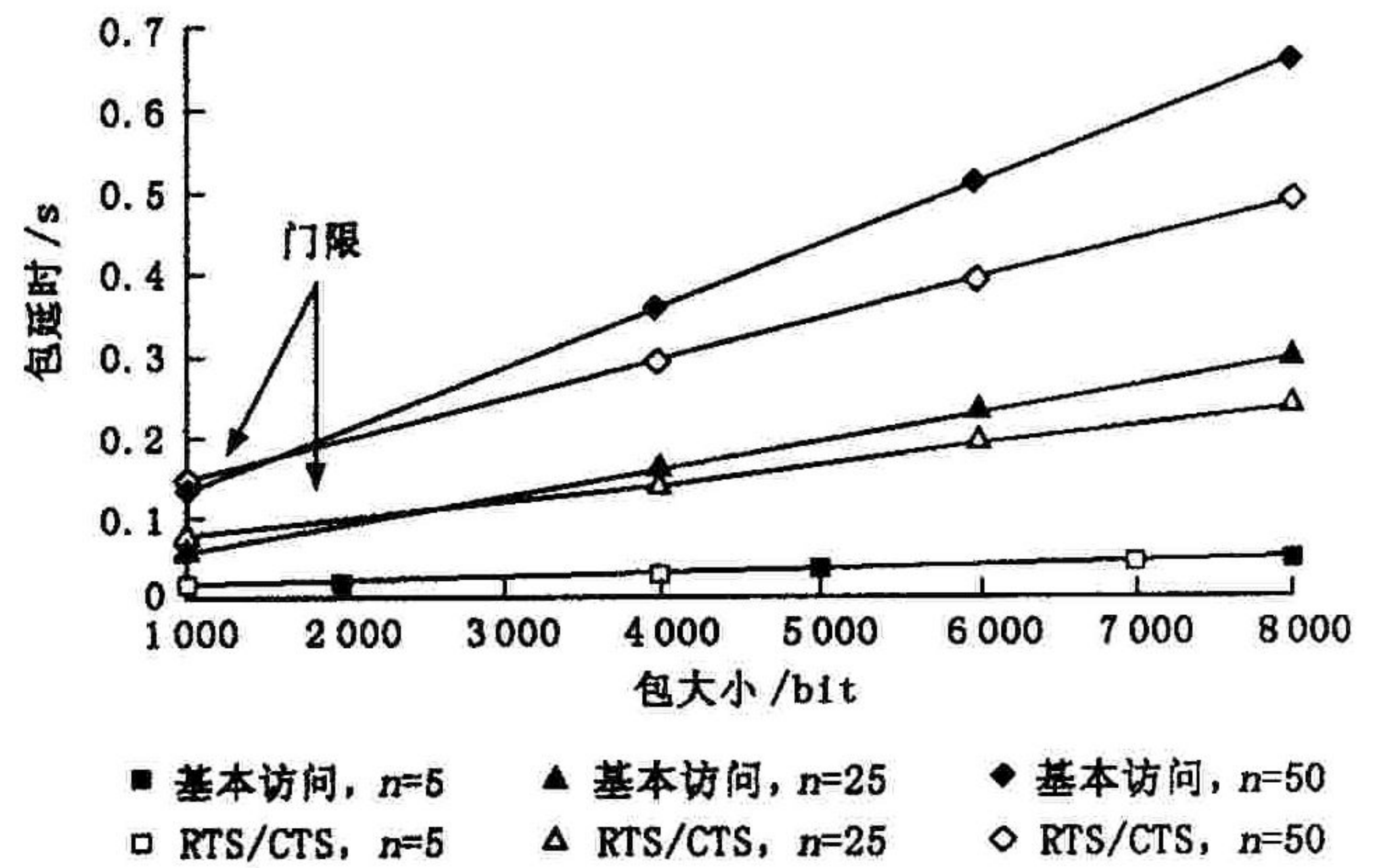


图3 对于不同移动站数量 n ,包延时与包大小 l 的对应关系 ($W = 32, m = 5, C = 1 \text{ Mbit/s}$)

参考文献:

[1] Bianchi G . IEEE 802.11: Saturation Throughput Analysis[J]. IEEE Commun, 1998, 12 (2) :318 - 320.
 [2] Bianchi G . Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function[J]. IEEE J Sel Areas Commun, 2000, 18 (3) : 535 - 547.
 [3] IEEE Std: 802.11b - 1999/Cor1 - 2001. IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications[S].

(编辑:门向生)

Packet Delay Mathematical Analysis Model of IEEE 802.11 MAC Protocol

ZHANG Rui, QIAN Yuan, FU Ke

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract: This paper proposes a new mathematical analysis model for computing the average packet delay of IEEE 802.11 protocol. This analysis is valid by comparison with the simulation result based on OPNET. The proposed analysis verifies that when RTS/CTS mechanism achieves lower packet delay, with respect to the basic access mechanism, it is of great importance to the rational use of RTS/CTS mechanism and the notable increase in the performance of IEEE 802.11 WLAN.

Key words: mathematical analysis ; model; packet delay