

# IEEE802.11 无线局域网络性能分析

盛 敏, 李建东, 史 琰

(西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室信息科学研究所宽带无线实验室, 陕西西安 710071)

**摘 要:** 无线局域网是目前无线通信领域中的主要通信网络之一, 如何有效的分析 IEEE802.11 无线局域网中的饱和吞吐率和接入时延一直是无线局域网中的研究重点. 本文引入了一种新型的分析模型, 分析了 IEEE802.11 DCF 协议下 Ad Hoc 网络的饱和吞吐量, 该模型不仅简单而且准确, 有效地降低了分析方法的复杂度; 同时本文还建立了一种有效的模型, 分析了 IEEE802.11 DCF 协议下 Ad Hoc 网络的接入时延. 仿真结果表明所有的分析结果和仿真结果都很吻合, 这说明了我们的分析模型是可行的.

**关键词:** 无线局域网; 饱和吞吐率; 接入时延

**中图分类号:** TN919 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 12A-148-05

## Performance Analysis of IEEE802.11 under Distribution Coordination Function

SHENG Min, LI Jiannong, SHI Yan

(State Key Lab & Information Science Institute & Broadband Wireless Lab, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071 China)

**Abstract:** Wireless LANs have achieved a tremendous amount of growth in recent years. The IEEE has standardized the 802.11 protocol for Wireless LAN. The performance of the Medium Access Control has been examined over the past years and several models had been provided. In this paper, a simple but accurate analytical model is presented to compute the saturation throughput and access delay of 802.11 DCF. Compared with other models, this model is able to predict the behaviors of 802.11 more simply and accurately.

**Key words:** wireless LAN, saturation throughput, access delay

### 1 引言

随着 Internet 应用的迅猛发展, 以及便携式、PDA (Personal Data Assistant) 等移动智能终端的使用的日益增长, 给广大用户提供了诸多便利(随时随地自由接入 Internet、能享受更多的业务、安全且有保障的网络). 在接入速率和适应环境上与 3G 技术互为补充的 WLAN (Wireless Local Area Network) 无线局域网<sup>[1]</sup>已经成为了新一代的高速无线接入网络. 无线局域网被看作传统有线网络的延伸, 在某些环境还可以替代传统的有线网络. 无线局域网有以下显著的益处: ①移动性, 在服务区域, 无线局域网用户可随时随地访问信息; ②设备安装快速、简单、灵活, 无线局域网系统消除了布线的繁琐工作, 网络可遍及有线不能到达的地方; ③减少投资, 无线网络减少了布线的费用, 应用在频繁移动和变化的动态环境中, 投资回报高; ④扩展能力, 无线局域网可组成多种拓扑结构, 易于扩展.

#### 1.1 WLAN 标准的发展过程和发展动态

1997 年 IEEE802.11 标准的制定是无线局域网发展的里程碑, 它是由大量的局域网以及计算机专家审定通过的标准. IEEE802.11 标准定义了单一的 MAC 层和多样的物理层, 其物理层标准主要有 IEEE802.11b, a 和 g.

1999 年 9 月正式通过的 IEEE802.11b 标准是 IEEE802.11 协议标准的扩展. 它可以支持最高 11Mbps 的数据速率, 运行在 2.4GHz 的 ISM 频段上, 采用的调制技术是 CCK. 但是随着用户不断增长的对数据速率的要求, CCK 调制方式就不再是一种合适的方法了. 因为对于直接序列扩频技术来说, 为了取得较高的数据速率, 并达到扩频的目的, 选取的码片的速率就要更高, 这对于现有的码片来说比较困难; 对于接收端的 RAKE 接收机来说, 在高速数据速率的情况下, 为了达到良好的时间分集效果, 要求 RAKE 接收机有更复杂的结构, 在硬件上不易实现. IEEE802.11a 工作 5GHz 频段上, 使用 OFDM 调制技术可支持 54Mbps 的传输速率. 802.11a 与 802.11b 两个标准都存在着各自的优缺点, 802.11b 的优势在于价格低廉, 但速率较低(最高 11Mbps); 而 802.11a 优势在于传输速率快(最高 54Mbps)且受干扰少, 但价格相对较高. 另外, 11a 与 11b 工作在不同的频段上, 不能工作在同一 AP 的网络里, 因此 11a 与 11b 互不兼容. 为了解决上述问题, 为了进一步推动无线局域网的发展, 2003 年 7 月 802.11 工作组批准了 802.11g 标准, 与以前的 802.11 协议标准相比有以下两个特点: 其在 2.4Hz 频段使用 OFDM 调制技术, 使数据传输速率提高到 20Mbps 以上; IEEE802.11g 标准能够与 802.11b 的 WiFi 系统互相连通,

共存在同一 AP 的网络里, 保障了后向兼容性. 这样原有的 WLAN 系统可以平滑的向高速无线局域网过渡, 延长了 IEEE802.11b 产品的使用寿命, 降低用户的投资.

IEEE 已经成立 802.11n 工作小组, 以制定一项新的高速无线局域网标准 802.11n. IEEE802.11n 计划将 WLAN 的传输速率从 802.11a 和 802.11g 的 54Mbps 增加至 108Mbps 以上, 最高速率可达 320Mbps. 和以往的 802.11 标准不同, 802.11n 协议为双频工作模式 (包含 2.4GHz 和 5GHz 两个工作频段). 这样 11n 保障了与以往的 802.11a、b、g 标准兼容. IEEE802.11n 计划采用 MIMO 与 OFDM 相结合, 使传输速率成倍提高. 另外, 天线技术及传输技术的发展, 使得无线局域网的传输距离大大增加, 可以达到几公里 (并且能够保障 100Mbps 的传输速率). IEEE802.11n 标准全面改进了 802.11 标准, 不仅涉及物理层标准, 同时也采用新的高性能无线传输技术提升 MAC 层的性能, 优化数据帧结构, 提高网络的吞吐量性能, 将是宽带接入的有效手段之一.

目前, 我国已经制订了《无线局域网媒体访问控制和物理层规范》和《2.4GHz 频段媒体较高速物理层扩展规范》, 在无线局域网的发展上取得了重大成果.

## 1.2 WLAN 的多址接入技术

在 IEEE802.11 的标准中, IEEE802.11<sup>[2,3]</sup> 的 MAC 协议具有两种信道接入方式: 分布式协调方式 (Distributed Coordinated Function—DCF) 和点协调方式 (Point Coordinated Function—PCF), 可工作在两种网络类型: 有固定结构的网络 (Infrastructure Network) 和分布式的网络 (Ad Hoc Network). 其中 DCF 是基本的协议, 是一种竞争型的信道访问机制. 本文将重点讨论 Ad Hoc 网络模式下 IEEE802.11 的 DCF 功能.

DCF 中采用载波检测与碰撞避免 (CSMA/CA) 协议, 其中有两种基本的信道接入方式: 简单的 CSMA 方式 (简称为基本方式) 和增强型的接入方式 (即 RTS/CTS 方式). 其详细的工作原理及过程可参考文献 [2]. 目前, 最常用的分析 IEEE802.11DCF 饱和吞吐量的方法主要是 G. Bianchi<sup>[4,6]</sup> 等人提出的. G. Bianchi 通过建立一个两维的马尔可夫模型来描述了 IEEE802.11DCF 接入方式的工作过程, 并通过一些近似最终得到了式 (1), 用来分析 IEEE802.11DCF 接入方式下的饱和吞吐量.

$$S_{\max} = \frac{E[P]}{T_s + \alpha K + T_c \left( K \left( e^{TK} - 1 \right) - 1 \right)} \quad (1)$$

经过 G. Bianchi 的推导 (详细过程见文献 [6]), 得出了一系列的结果和结论. 其中很重要的一点就是系统的饱和吞吐量和网络中的节点数没有直接的关系, 并且对于在 IEEE802.11DCF 的 RTS/CTS 接入方式下, 当退避次数为 3 时网络的饱和吞吐量在 0.83 左右变化.

本文则采用了一个更简单的分析模型, 分析了 IEEE802.11DCF 协议增强型接入方式的饱和吞吐量. 分析的结果和仿真的结果都和文献 [6] 的非常近似, 因此, 是一种简单实用的分析模型.

## 2 IEEE802.11 DCF 增强型多址接入协议理论分析模型

为了便于后面的讨论, 我们做以下一些假设:

(1) 忽略由于信道的不可靠性而导致的传输错误. 因此在本文里讨论的误帧都是由于在信道上发生了碰撞而导致的 (这里我们认为发送缓存为无穷大).

(2) 忽略捕获效应.

(3) 网络有有限个节点, 并且所有节点总是有分组要发送, 即网络中的节点始终工作在饱和状态下.

(4) 系统工作在时隙状态下, 所有的节点都已经处于同步状态.

(5) 网络是分布式的 Ad Hoc 网络.

在我们的分析中, 定义系统的时隙为 IEEE802.11 标准中的  $T_{slot}$ <sup>[2]</sup>. 在每个时隙内如果有一个节点正在发送, 则其它的节点可以检测到该时隙处于忙状态, 并且进行退避, 直到信道再次空闲; 若有两个或两个以上的节点在同一个时隙发送数据, 则会产生碰撞. 因此, 系统的时隙是一种共享的竞争资源, 一旦某一节点成功的竞争到了某一时刻, 它将会在后续时隙内无冲突的独享该信道资源直到它的数据发送结束.

假定系统分组的到达是一个泊松过程. 如果分组到达某一节点而无法进行发送, 则该节点被认为是等待重传的节点, 并且将会以概率  $q_r$  进行重传. 为了分析 DCF 的饱和吞吐量, 我们定义如下一些时间间隔:

$T_{success}$ : 成功传输占用信道的平均时间.

$T_{collision}$ : 碰撞传输占用信道的平均时间.

$E[P]$ : 分组的平均长度, 当网络中所有分组的长度都一样时,  $E[P]$  是一个常数.

因为我们采用了 RTS/CTS 握手机制, 所以一旦 RTS/CTS 成功的预约到信道, 数据将会无冲突的独享信道直至发送结束. 因此, 在全连通的网络中, 如果采用 RTS/CTS 机制, 碰撞只会发生在 RTS 帧, 如图 1 所示.

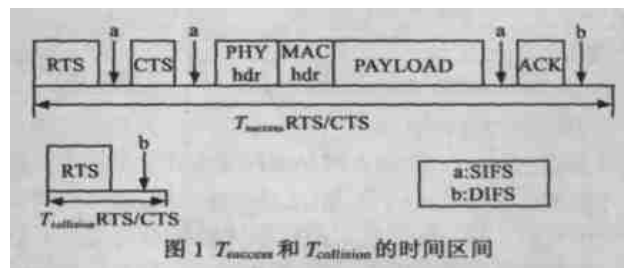


图 1  $T_{success}$  和  $T_{collision}$  的时间区间

由图 1 我们可以得到  $T_{success}$  和  $T_{collision}$  时间区间长度的数据表达式,

$$T_{success} = RTS + SIFS + T_{slot} + CTS + SIFS + T_{slot} + H + E[P] + SIFS + T_{slot} + ACK + DIFS + T_{slot}$$

$$T_{collision} = RTS + DIFS + T_{slot} \quad (2)$$

上式中, 所有的帧长 (如 RTS、CTS、 $E[P]$ ) 都认为是已经等效为其相应的传输时间的值.

在本文的讨论中使用的是 WLAN 在跳扩频信道下的系统参数, 其取值如表 1 所示.

这样, 根据表 1 中的系统参数将式 (2) 中的值作相应的计算, 我们可以得到

$$T_{success} = 191.36slot, T_{collision} = 8.34slot \quad (3)$$

这里, 每一个时隙的长度为

表 1 跳扩信道下的系统参数

packet payload	8184bits
MAC header	272bits
PHY header	272bits
ACK	112bits+ PHY header
RTS	160bits+ PHY header
CTS	112bits+ PHY header
Channel Bit Rate	1Mbit/s
Propagation Delay	1μs
Slot Time(Tslot)	50μs
SIFS	28μs
DIFS	128μs
ACK_Timeout	30μs
CTS_Timeout	300μs

$$1 \text{ slot} = 50 \mu\text{s} \quad (4)$$

为了描述简单,我们令一次完整的成功传输所需要的时间  $T_{\text{success}}$  作为系统单位时间. 并且令  $\alpha$  表示  $T_{\text{collision}}$  归一化到系统单位时间的值,  $\beta$  为  $T_{\text{slot}}$  归一化到系统单位时间的值. 即有

$$\alpha = \frac{T_{\text{collision}}}{T_{\text{success}}} = \frac{8.34}{191.36} \quad (5)$$

$$\beta = \frac{T_{\text{slot}}}{T_{\text{success}}} = \frac{1}{191.36} \quad (6)$$

如果我们将系统中所有的参数都归一化到系统的时间单位上,则系统中所有的参数在各种不同单位下的对应关系如表 2 所示.

表 2 系统参数在各种单位下的对应关系

	bits	slot time units (Tslot= 50μs)	system time units (Tsuccess= 191.36Tslot)
Packet Payload	8184	163.68	163.68/191.36
Tsuccess	9568	191.36	1
Tcollision	417	8.34	8.34/191.36
Tslot	—	1	1/191.36

由于时隙 CSMA/CA 系统行为可以用一个离散时间的马尔可夫链来描述<sup>[5]</sup>, 每一个节点都必须在检测到至少一个空闲时隙后才能发送, 所以每一个忙期(成功或碰撞期)后都必须跟随一个空闲时隙. 因此, 如果我们假设系统的状态为每一个空闲时隙结束时刻等待重传的节点数, 则相继两个状态转移的时间间隔为  $\beta$ ,  $1+\beta$  和  $\alpha+\beta$ . 其状态转移时刻如图 2 所示.

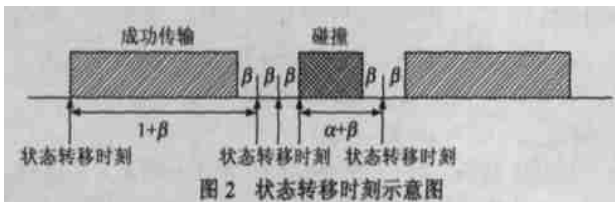


图 2 状态转移时刻示意图

### 2.1 IEEE802.11 DCF 增强型多址接入协议饱和吞吐率分析

假设  $D_n$  是在系统状态为  $n$  时, 一个时隙内等待重传队列的平均变化量;  $\lambda$  表示系统的分组到达率;  $P_{\text{succ}}$  表示在状态转移间隔内成功传输的概率, 实际上就等于在状态转移间隔内平均成功传输的分组数;  $P_{\text{idle}}$  表示在状态转移间隔内出现空闲的概率;  $P_{\text{coll}}$  表示在状态转移间隔内碰撞的概率;  $n$  表示

网络中等待重传的节点数. 则  $D_n$  等于在状态转移间隔内到达的总分组数减去在状态转移间隔内平均成功传输的分组数, 即  $D_n = E\{\text{状态转移间隔内到达的总分组数}\} - P_{\text{succ}}$   

$$= \lambda \times E\{\text{状态转移间隔}\} - P_{\text{succ}} \quad (7)$$

在式(7)中, 有

$$E\{\text{状态转移间隔}\} = \beta \times P_{\text{idle}} + (1+\beta) \times P_{\text{succ}} + (\alpha+\beta) \times P_{\text{coll}} \quad (8)$$

时隙空闲的概率等于在  $\beta$  间隔内无新分组到达且所有等待重传的节点没有分组发送的概率; 而分组成功传输的条件是: 在空闲时隙(即  $\beta$  间隔)有一个分组到达且所有等待重传的节点没有分组发送, 或在  $\beta$  间隔内没有分组到达而等待重传的节点中有一个节点发送分组. 因此有:

$$P_{\text{idle}} = e^{-\lambda\beta}(1 - q_r)^n \quad (9)$$

$$P_{\text{succ}} = \lambda\beta e^{-\lambda\beta}(1 - q_r)^n + e^{-\lambda\beta}nq_r(1 - q_r)^{n-1} \\ = \left[ \lambda\beta + \frac{q_r}{1 - q_r}n \right] e^{-\lambda\beta}(1 - q_r)^n \quad (10)$$

由于当  $q_r$  较小时, 有  $(1 - q_r)^n \approx (1 - q_r)^{n-1} \approx e^{-nq}$ , 因此  $D_n$  可以进一步表示为:

$$D_n = \lambda[\beta e^{-g(n)} + (1+\beta)g(n)e^{-g(n)} + (\alpha+\beta)(1 - e^{-g(n)} - g(n)e^{-g(n)}) - g(n)e^{-g(n)}] \quad (11)$$

在式(11)中,  $g(n)$  是到达分组数和重传分组数之和, 即试图进行传输的平均分组数, 因此有  $g(n) = \lambda\beta + q_r n$  (12)

如果我们要得到一个稳定的系统, 我们必须令  $D_n$  为负<sup>[5]</sup>, 则有  $\lambda < \frac{P_{\text{succ}}}{E\{\text{状态转移间隔}\}}$

$$\approx \frac{g(n)e^{-g(n)}}{\beta e^{-g(n)} + (1+\beta)g(n)e^{-g(n)} + (\alpha+\beta)(1 - e^{-g(n)} - g(n)e^{-g(n)})} \quad (13)$$

式(13)中, 约等号右边的分子为每个状态转移间隔内平均成功传输的分组数, 分母为平均状态转移间隔的长度, 两者相除表示单位时间内的平均离开率(通过率).

如果我们对式(13)约等号右边求导, 我们就可以求得  $\lambda$  的最大值, 即

$$\frac{d\lambda}{dg(n)} = \left[ \frac{g(n)e^{-g(n)}}{\beta e^{-g(n)} + (1+\beta)g(n)e^{-g(n)} + (\alpha+\beta)(1 - e^{-g(n)} - g(n)e^{-g(n)})} \right] = 0 \quad (14)$$

求导可得:(求导的详细过程参考附录)

$$\frac{\alpha+\beta}{\alpha}(1 - g(n)) = e^{-g(n)} \quad (15)$$

对于式(15), 可求得当  $g(n) \approx 0.403599$  (15)

$\lambda$  取得最大值 0.9722968. 这里的  $\lambda$  为信道上传输的等效帧长度, 包括了有效的数据及 RTS/CTS 长度. 所以, 实际的有效数据到达率为

$$\lambda' = \frac{E[P]}{E[P] + \text{Overheads}} \lambda = \frac{163.38}{191.36} \lambda \\ = 0.9722968 \frac{163.38}{191.36} \approx 0.83013004 \quad (17)$$

通过以上分析, 我们可以得到当  $g(n)$  约等于 0.4 时, 系统的最大饱和吞吐率约为 0.83. 很显然, 该结果和 G. Bianchi 在文

献[6]中的结论是一致的。

**2.1.1 IEEE802.11 DCF 增强型多址接入协议饱和吞吐率性能仿真** 为了验证我们理论分析的正确性,我们采用了 OPNET<sup>[7]</sup> 仿真工具进行了仿真。我们共仿真了 5 种不同的场景。即网络中分别有 10、20、30、40 和 50 个节点,随机的分布在 1km × 1km 的范围内,每一个节点的传输半径为 300 米。仿真的参数和表 1 中的参数一致。仿真的结果如图 3 所示。

从图 3 中的仿真结果可看出,不论在哪种网络规模下,我们分析得到的理论结果和仿真得到的结果都很近似。仿真的饱和吞吐量的值在 0.83 附近变化,仿真曲线值和理论值平均偏差在 0.06% 左右变化。这就意味着我们的分析模型是较准确的,而且理论分析结果和仿真结果都和目前用的最多的 G. Bianchi 有人在文[8]中的基本相同。从我们的仿真结果和理论分析看,IEEE802.11DCF 在采用了 CSMA/CA 的接入方式时,系统的饱和通过率和系统中的节点数无关。这个结论也和文献[6]一致。

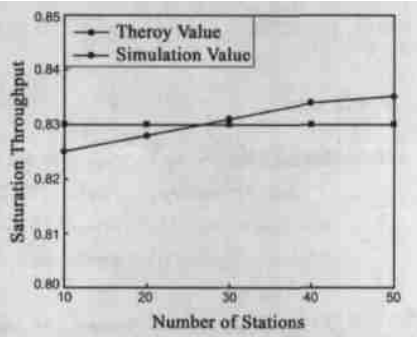


图 3 CSMA/CA 接入方式下饱和和通过量一节点数在我们的仿真过程中,退避窗的最小值为 31,退避的最大次数为 3,其余的参数如长 1.

**2.2 IEEE802.11 DCF 增强型接入方式接入时延分析**

通常情况下,既使在已知系统到达率的情况下,想要准确的分析 CSMA/CA 的接入时延仍然是比较困难的。但是我们通过如图 4 所示的近似模型可以对 CSMA/CA 接入方式下的接入时延进行近似的分析。

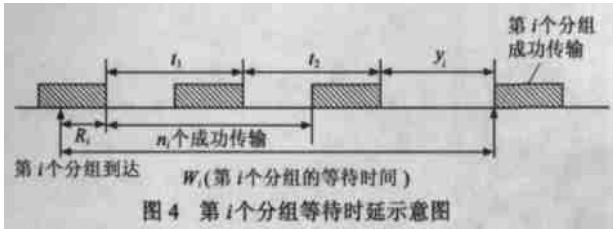


图 4 第 i 个分组等待时延示意图

令  $W_i$  是第  $i$  个分组到达时刻到第  $i$  个分组成功传输的时刻开始点之间的时延。虽然从整个系统的角度来说,所有分组的服务并不是遵守先来先服务的原则(First Come First Service FCFS),但是由于分组的到达和分组在队列中的等待时间是相互独立的,所以应用 P K 公式中 FCFS 模型来分析其平均等待时延仍然是合理的<sup>[5]</sup>。因此,在下面的分析中,我们直接应用 FCFS 的模型。

**2.2.1 接入协议接入时延分析** 很显然,通过上面的假设,我们就可以认为  $W_i$  就是第  $i$  个分组的排队时延,并且假设  $n_i$  表示第  $i$  个分组到达时系统中等待的分组数(不包括  $i$  到达时隙正在成功传输的分组),那么有

$$W_i = R_i + \sum_{j=1}^{n_i} t_j + y_i \quad (18)$$

式(18)中,  $R_i$  是第  $i$  个分组到达时隙的剩余传输时间,显然有  $R_i$  的均值等于  $1/2^{[5]}$ ;  $t_j$  表示第  $j$  个等待重传分组从开始传输(或第  $j-1$  个等待重传分组成功传输结束)到它成功传输结束所需的时延;而  $y_i$  表示第  $i$  个到达分组从开始传输到成功传输开始时刻之间的时延。对上式取均值并令  $i \rightarrow \infty$ , 则有

$$W = E\{R\} + \lambda E\{t\} + E\{y\} = \frac{E\{R\} + E\{y\}}{1 - \lambda E\{t\}} \quad (19)$$

式(19)中,  $E\{t\}$  是  $t_j$  的均值,并且有

$$E\{t\} = e^{-g(n)}(\beta + E\{t\}) + g(n)e^{-g(n)}(1 + \beta) + [1 - (1 + g(n))e^{-g(n)}][\alpha + \beta + E\{t\}] \quad (20)$$

上式第一项是在状态转移区内一个空闲传输所用的平均时间,第二项表示一个成功传输的长度,第三项表示一个碰撞所需的长度。将其化简可得

$$E\{t\} = \frac{\beta e^{-g(n)} + (1 + \beta)g(n)e^{-g(n)} + (\alpha + \beta)[1 - (1 + g(n))e^{-g(n)}]}{g(n)e^{-g(n)}} \quad (21)$$

当  $g(n) \approx 0.403599$  时,  $E\{t\}$  取得最小值。此时有

$$E\{t\} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.9722958} \approx 1.02849 \text{ (系统单位时间)} \quad (22)$$

$E\{y\}$  等于  $E\{t\}$  减去一个成功传输的时间,即

$$E\{y\} = E\{t\} - 1 = 0.02849 \text{ (系统单位时间)} \quad (23)$$

当第  $i$  个分组到达时,系统可能处于空闲、成功传输或碰撞传输。成功传输在系统中的时间比例为  $\lambda(1 + \beta)$ 。在这些区间内到达分组的平均剩余时间为  $(1 + \beta)/2$ 。当  $\beta$  较小下,相对于成功传输,碰撞传输所占的比例相对较小,可以忽略,并忽略空闲时隙的剩余时间,此时有

$$E\{R\} \approx \frac{\lambda^{[5]}}{2} \quad (24)$$

$$\text{则平均的排队时延为 } W = \frac{\lambda + 0.05698}{2(1 - 1.03\lambda)} \quad (25)$$

$$\text{在这里, } \lambda = \frac{191.36\lambda'}{163.38} = 1.17\lambda' \quad (26)$$

$\lambda'$  是实际的外部总的分组到达率。

**2.2.2 接入时延性能仿真**

为了证明我们的理论分析模型的正确性,我们仿真了在不同分组到达率(包括系统开销)的情况下,系统的接入时延。我们的仿真了 3 种不同的场景:10、20 和 50 个节点的网络,各个节点随机的分布在 1km × 1km 的范围内,每个节点的传输半径为 300m。仿真的环境与 2.1.1 节中描述的一致。由于仿真的结果和理论值非常的吻合,所以从曲线上很难将其区分开,因此我们还给出了仿真结果的图表形式。

表 3 接入时延的理论分析值和仿真结果

$\lambda$ (packets/slot)	Theory Value(ms)	Simulation Value(ms)		
		10	20	50
0.5	5.1	5.26	5.9	5.5
0.6	8.2	9.3	8.7	8.9
0.7	13	13.2	13.4	13.7
0.8	23	23.8	24.0	24.1
0.9	62.7	65.76	66.8	66.9

图 5 是其仿真曲线,从表 3 的仿真结果和图 5 的仿真曲

线来看,我们发现随着每时隙的分组到达率的增加,系统的平均接入时延逐渐增大.当每时隙分组的到达率接近系统的饱和通过率(含开销)时,系统的接入时延开始迅速增加;当分组到达率超过了系统的饱和到达

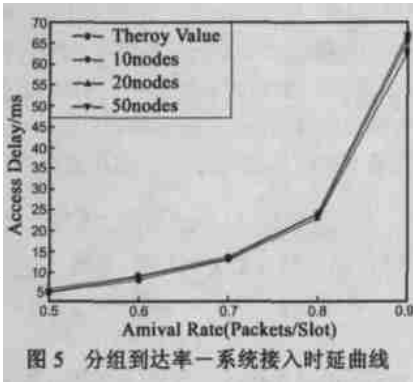


图5 分组到达率—系统接入时延曲线

率时,系统的接入时延开始趋于无穷大.而且从仿真的结果可以看出,不论是哪种场景,仿真结果和理论分析值都是非常吻合的.仿真结果和理论值的平均偏差仅有 1.286ms 左右.从图 5 中还可以看出,只要系统的到达率小于其饱和通过率,该系统都是稳定的.

### 3 结论

IEEE802.11DCF 协议是目前最具影响力的 WLAN 多址接入协议.目前,很多文献用不同方法对 DCF 协议进行了性能分析,得出了 IEEE802.11DCF 基本接入协议和增强型接入协议(RTS/CTS 机制)下的系统饱和通过率.本文首先用不同于已有文献的分析方法分析了 IEEE802.11DCF 增强型接入协议的饱和通过率问题,建立了一种简单实用的分析模型,推导出了增强型接入协议的饱和通过率.结果和目前被引用次数最多的文献中的结论一致;然后,又提出了一种用来分析增强型接入协议的网络接入时延的分析模型,通过仿真验证了该模型的正确性.结果表明本文的理论分析模型是一种简单可行的模型.

附录:

公式(14)的详细推导过程.令

$$U = g(n) e^{-g(n)} \quad (27)$$

$$V = \beta e^{-g(n)} + (1 + \beta) g(n) e^{-g(n)} + (\alpha + \beta) [1 - (1 + g(n)) e^{-g(n)}] \quad (28)$$

这样,我们可以将式(13)表示为

$$\lambda < \frac{U}{V} \quad (29)$$

对上式右边求导,有

$$\left( \frac{U}{V} \right)' = \frac{U'V - UV'}{V^2} \quad (30)$$

$$\text{令} \quad A = U'V \quad (31)$$

$$B = UV' \quad (32)$$

我们可以得到

$$\begin{aligned} A &= (e^{-g(n)} - g(n)e^{-g(n)})[(\alpha + \beta) - \alpha e^{-g(n)} \\ &\quad + (1 + \alpha)g(n)e^{-g(n)}] \\ &= (\alpha + \beta)e^{-g(n)} - (\alpha + \beta)g(n)e^{-g(n)} - \alpha e^{-2g(n)} \\ &\quad + g(n)e^{-2g(n)} - (1 - \alpha)g(n)^2 e^{-g(n)} \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} B &= g(n) e^{-g(n)} [e^{-g(n)} + (\alpha - 1)g(n) e^{-g(n)}] \\ &= g(n) e^{-2g(n)} + (\alpha - 1)g(n)^2 e^{-2g(n)} \end{aligned} \quad (34)$$

当我们令式(15)等于 0 时,相当于令式(28)为 0. 所以有

$$A - B = 0 \quad (35)$$

因为,

$$A - B = (\alpha - \beta) e^{-g(n)} - (\alpha + \beta) g(n) e^{-g(n)} - \alpha e^{-2g(n)} = 0 \quad (36)$$

$$\text{最后, 我们得到: } \frac{\alpha + \beta}{\alpha} (1 - g(n)) = e^{-g(n)} \quad (37)$$

参考文献:

- [1] Natrikic M. Wireless LAN standards and applications [Book Review] [J]. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(2): 32-34.
- [2] IEEE Standard 802.11a, Wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specification: High speed physical layer in the 5 GHz band[S].
- [3] IEEE Standard 802.11b, Wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specification: High speed physical layer in the 2.4 GHz band[S].
- [4] G Bianchi, L Fratta, M Oliveri. Performance evaluation and enhancement of the CSMA/CA MAC protocol for 802.11 wireless LANs[A]. Proc PMRC[C]. Taipei: 1996. 392-396.
- [5] Dimitri Bertsekas. DATA NETWORKS[M]. USA: Prentice Hall International Editions. Second edition.
- [6] G Bianchi. Performance analysis of the IEEE802.11 distributed coordination function[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(3): 535-547.
- [7] OPNET simulation tools[Z]. <http://www.opnet.com/products/modeler/home.html>

作者简介:



盛敏 女, 1975 年 8 月出生于湖南省长沙市, 西安电子科技大学, 博士、副教授, 中国电子学会会员、陕西省通信学会青年委员会委员, 主要研究方向包括移动 Ad Hoc 网络多址接入协议、QoS 路由、个人通信网络等。



李建东 男, 1962 年 10 月出生于江苏省阜宁县, 西安电子科技大学博士导师, 中国通信学会会员、IEEE 高级会员、中国电子学会高级会员, 第一届和第四届 863 个人通信技术专业专家组成员, 享受国家政府特殊津贴, 从事移动通信、个人通信、软件无线电、分组无线网、自组织网络、宽带无线 IP 技术等方面的研究. E-mail: jldli@xidian.edu.cn.

史 琰 男, 1975 年 1 月出生于江苏武进, 西安电子科技大学, 博士生, 主要研究方向是 QoS 路由, 网络优化等。