

无线局域网中多信道预约冲突避免接入协议研究*

张宇眉, 赵东风, 余 江

(云南大学 通信工程系, 云南 昆明 650091)

摘要: 为无线局域网提出了一种多信道预约冲突避免的随机多址接入协议, 该协议综合了预约类协议和多通道的思想. 采用平均周期分析方法对该系统进行分析, 得到系统的信息分组发送成功的平均长度公式, 分析了系统的吞吐量. 分析表明, 在使用任意确定数目的信道, 在总带宽相同的情况下新协议表现出比单通道 CSMA 协议更好的性能.

关键词: 多通道; 冲突避免; 平均周期方法; 吞吐量; 无线局域网

中图分类号: TN 914.5 文献标识码: A 文章编号: 0258- 7971(2006) 03- 0197- 04

无线局域网是近年来发展迅速的无线数据通信网, 由于 WLAN 的使用可以不受地理条件限制, 在通信不便利及移动通信等多种情况下可以实现对计算机网络的组建, 因此可以极大改善有线网络的不足. 设计无线局域网的一个关键问题是媒体接入控制(MAC) 协议, 即多址接入协议. 多址接入协议主要分为固定分配、随机接入和动态分配 3 种. 对于以传输突发业务为主的分组网络而言, 设计多址接入协议的主导思想是以随机多址接入为基础^[1- 3].

IEEE 802. 11 的 MAC 协议提出了采用 RTS/CTS 形式进行碰撞避免的协议 CSMA/CA, 该协议是性能优越和大规模实用化的多址协议, 也是研究其他多址协议的比较基础. 为了获得较好的多址性能, 本文提出了一种多信道预约冲突避免多址接入协议, 它发展了多信道和预约相结合的思想, 与传统的 IEEE 802. 11MAC 协议相比, 可以提高多址性能. 同时, 本文采用平均周期分析方法对多信道预约冲突避免协议进行分析, 给出信息分组发送成功的平均长度, 并对一些相关的性能参数进行分析.

1 多信道预约冲突避免接入协议

IEEE 802. 11 支持的基本接入方式是分布式协调功能(DCF), 所有无线终端都需要支持 DCF.

它单独在 Ad hoc 网络中使用, 也可以单独或者协同 PCF 在结构化网络中使用. DCF 是建立在 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 基础上的. 其中 CA 表示冲突避免. 冲突避免机制实际是在无线终端发送信息前必须对信道进行预约, 这种预约是通过 RTS/CTS (request to send/clear to send) 机制实现的, 采用这种预约机制可以有效地解决隐蔽站点和暴露站点的问题. 图 1 所示为采用该协议收发数据的过程.

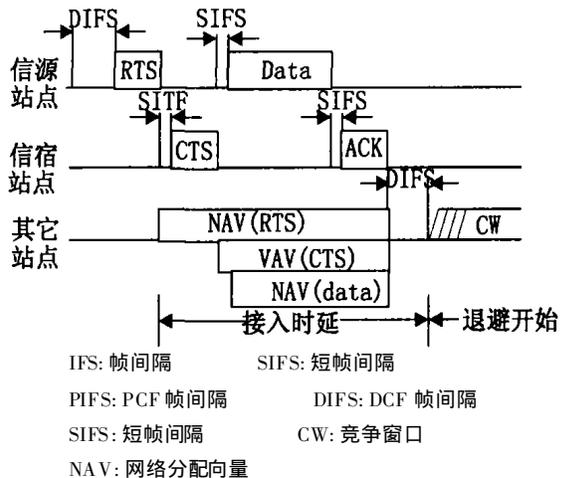


图 1 采用 RTS/CTS 机制发送数据帧

Fig. 1 Sending data with RTS/CTS

* 收稿日期: 2005- 06- 22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60362001, F0424104); 云南省自然科学基金资助项目(2003F0014M, 2004F0011R).

作者简介: 张宇眉(1978-), 女, 硕士生, 主要从事网络通信工程方面的研究.

通讯作者: 赵东风(1957-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事随机多址通信、轮询多址通信、网络通信工程方面的研究.

为了更好地解决隐蔽终端和暴露终端问题,并且有效地提高信道利用率,提出了 1 种新的 MAC 协议,即多通道预约冲突避免协议.在这里,我们采用多个扩频码来实现多信道系统(也可以使用频分的方式来实现^[4]).可用的无线资源被分成若干份,其中 1 个作为公共信道,用于预约分组的发送,其它信道为业务信道,用于传输数据.当系统仅工作在单通道时,就等效于 IEEE 802.11 的 MAC 协议.协议的原理如图 2 所示.发方在 RTS 分组中向收方指明他们进行通信时所用的扩频码,收方通过 CTS 分组对该码进行确认,成功后他们就可以利用该指定的码字进行通信.

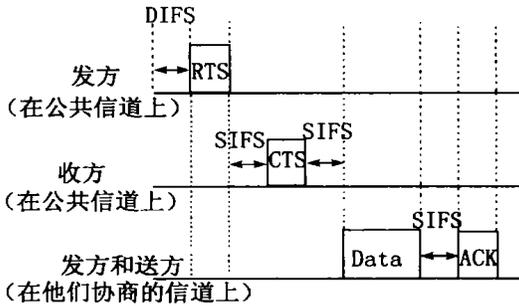


图 2 多信道预约冲突避免协议

Fig. 2 Reservation based multi channel multiple access protocol with CA

在该协议中,每个节点通过监听在公共信道上面的 RTS 和 CTS 分组来记录各个码字使用的情况.当节点与其它节点通信时,首先在公共信道上向收方发送 RTS 分组,指定一个以它的角度来看空闲的码字.收方成功接受到 RTS 分组后,如果同样确定该码字是空闲的,那么将发送 CTS 分组,确认该码字可以用于通信.发放成功收到 CTS 分组后,他们就可以在双方协定的信道上进行无冲突通信.

2 分析方法描述

采用平均周期分析方法对时间连续型随机多址系统的分析^[5-7]已经成为 1 种全新的分析思路.对于所提出的多信道 MAC 协议,它工作在连续时间状态,当系统仅工作在单通道时,就近似为连续时间 CSMA 协议.我们同样采用平均周期方法来分析系统的相关性能参数.设终端的数目不受限制,其在任意信道上发送信息分组的情况如图 3 所

示,从图 3 中可以看到,信道中有 3 种事件发生:信息分组信号被成功发送(U)、信息分组信号发生碰撞(B)、以及空闲时间(I),这 3 种事件是一交错出现的随机过程.

现将碰撞和成功事件归为 1 种事件,这样在时间轴上出现的就是 A_{BU} 事件和 A_I 事件,他们循环发生的时间变量用 T_I 表示.在分析过程中采用平均周期分析方法对系统进行(I, BU, T_I)平均周期划分.

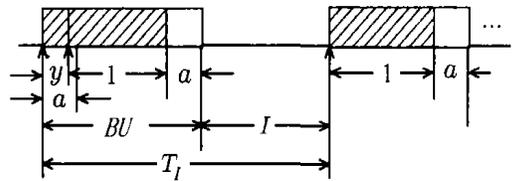


图 3 平均周期的(I, BU, T_I)划分

Fig. 3 (I, BU, T_I) average cycle

3 协议性能分析

3.1 分析假设 在分析系统性能时,我们采用如下的假设:

- (1) 系统中站的数目 N ,每个站在信道 j 上的帧到达(包括新帧产生和重发帧的到达)过程是服从参数 λ 的 Possio 分布,则总到达率 $G = N\lambda$;
- (2) 所有帧的长度相同,帧传输时间为 T ;
- (3) τ 为信道最长距离上的传播时延,即信道上相距最远的 2 个站之间的单向传播时延,定义参数 $\alpha = \tau/T$,并且 $\alpha < 1$;
- (4) 给定 1 个可用带宽,单通道 MAC 协议使用所有可用带宽,对于多通道系统,设有 M 个信道,则可用带宽被平均分成 M 份.

3.2 分析理论模型 采用平均周期方法对 1 个信道 j 进行的(I, BU, T_I)平均周期划分,如图 3 所示,则在 1 个平均周期中,通道 j 为 BU 状态的长度为

$$E(BU) = 1 + a + E(y),$$

对于随机变量 y 的概率分布的表示,我们采用如下方法.首先给出 2 个引理^[8]:

引理 1 设 $\{X(t), t \geq 0\}$ 是到达率为 G 的泊松过程,设在 $[0, t]$ 内事件 A 已经发生 n 次,那么第 k 次($k < n$)事件 A 发生的时间 W_k 的条件概率密度函数为

$$f_{W_k | X(t)}(s | n) =$$

$$\frac{n!}{(k-1)!(n-k)!} \frac{s^{k-1}}{t^k} \left(1 - \frac{s}{t}\right)^{n-k}$$

引理 2 若随机变量 X 与 Y 的期望存在, 则

$$EX = E[E(X | Y)] = \int E(X | Y = y) dF_Y(y),$$

如果 Y 是离散型随机变量, 则

$$EX = \sum_y E(X | Y = y) P(Y = y).$$

由上述引理可得通道 j 上随机变量 y 的平均长度 $E(y)$ 为

$$E(y) = E[E(Y | X(t))] = \sum_y E(Y | X(t) = n) P(X(t) = n) = \sum_n \left[\int y \cdot n \cdot \frac{y^{n-1}}{a^n} dy \right] \cdot \frac{e^{-Ga} \cdot (Ga)^n}{n!} = a - \frac{1}{G}(1 - e^{-aG}),$$

在 $(0, t)$ 时间段内没有信息分组到达的概率为 e^{-Gt} , 所以 $E(I)$ 可表示为

$$E(I) = \int_0^\infty t \cdot \frac{e^{-Gt}}{\int_0^\infty e^{-Gt} dt} dt = \frac{1}{G}.$$

从而得到一个平均周期的长度为

$$E(T_I) = E(BU) + E(I) = (1 + 2a) + \frac{1}{G} e^{-aG}.$$

平均周期中信息分组成功发送所占的长度为

$$E(U) = E(U_s) \times P_j,$$

其中, $E(U_s)$ 表示单通道中信息分组成功发送的平均长度, P_j 表示 a 节点向 b 节点发送的 RTS 分组中可以指定 1 个空闲码(信道 j) 并且 b 节点在此时有相同的空闲码字的概率.

$$E(U_s) = 1 \times e^{-aG} = e^{-aG},$$

$P_j = P(a \text{ 有空间码字指定}) \times P(b \text{ 有相同空闲码字} / a \text{ 至少有一个空闲码字可以在 RTS 分组中指定}).$

其中:

$P(b \text{ 有相同空闲码字} / a \text{ 至少有一个空闲码字可以在 RTS 分组中指定}) \times p(b \text{ 有 } k \text{ 个空闲码字}) =$

$$\sum_{k=1}^M P(b \text{ 有相同空闲码字} / b \text{ 有 } k \text{ 个空闲码字且 } a \text{ 可指定一个空闲码字}) =$$

$$\sum_{k=1}^M P(b \text{ 有 } k \text{ 个空闲码字}) \times \frac{k}{M-1}.$$

$$P(a \text{ 有空闲码字指定}) =$$

$$1 - \left[\sum_{k=0}^{M-1} (\lambda\tau)^{M-1-k} \frac{1}{(M-1-k)!} \right]^{-1} \times$$

$$(\lambda\tau)^{M-1} \times \frac{1}{(M-1)!}.$$

$P(b \text{ 有 } k \text{ 个空闲码字指定}) =$

$$\left[\sum_{k=0}^{M-1} (\lambda\tau)^{M-1-k} \frac{1}{(M-1-k)!} \right]^{-1} \times$$

$$(\lambda\tau)^{M-1-k} \frac{1}{(M-1-k)!}.$$

可得通道 j 上系统的吞吐量表示为

$$S_j = \frac{E(U)}{E(T_I)} = \frac{Ge^{-aG}P_j}{G(1+2a) + e^{-aG}},$$

其中:

$$P_j = (1 - \left[\sum_{k=0}^{M-1} (\lambda\tau)^{M-1-k} \frac{1}{(M-1-k)!} \right]^{-1} \times$$

$$(\lambda\tau)^{M-1} \times \frac{1}{(M-1)!}) \times$$

$$\sum_{k=1}^{M-1} \left\{ \left[\sum_{k=0}^{M-1} (\lambda\tau)^{M-1-k} \frac{1}{(M-1-k)!} \right]^{-1} \times \left((\lambda\tau)^{M-1-k} \frac{1}{(M-1-k)!} \times \frac{k}{M-1} \right) \right\}.$$

则系统的总吞吐量为

$$S = \sum_{j=1}^{M-1} S_j = \sum_{j=1}^{M-1} \frac{Ge^{-aG}P_j}{G(1+2a) + e^{-aG}}.$$

3.3 实验结果分析 假定在接收 RTS 或 CTS 时没有分组碰撞, 接收机能正确获得它所需的信息.

吞吐量定义为在总带宽恒定的情况下, 单位时间内数据分组成功传输的平均数目. 各节点的数据分组产生服从泊松过程. 使用的参数如下: $N = 10, M = 3, \tau = 0.02$, 这里的参数是以全速率发送的结果, 对于多信道来说, 相应的分组发送时间将会变成 M 倍长. 假定 CSMA 协议与 IEEE 802.11MAC 协议相同, 则分别考察多信道预约冲突避免协议与 CSMA 的网络性能比较, 如图 4 所示.

由此可以看出, 在轻负载的时候多信道预约冲突避免协议比单通道 CSMA 在吞吐量性能上有很大的改善. 因此可以提高信道的利用率. 在负载较重的情况下, 由于多信道传输速率的下降, 使得 RTS 和 CTS 的传输时间变大, 影响系统的总吞吐量.

4 结束语

随着无线通信网络的迅速发展, 随机多址协议在未来通信中具有广阔的应用前景, 许多国内外研

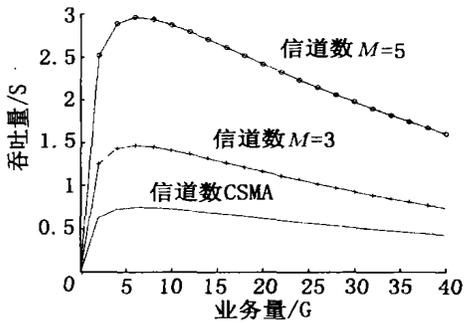


图 4 协议网络性能比较

Fig. 4 Compare of performance with protocols

究人员提出了一些分析随机多址协议的新思路,针对不同网络的特点,希望通过改进原有协议,进一步挖掘信道潜力,提高频谱资源利用率.本文提出了多信道预约冲突避免的多址接入协议,能够更好地解决 WLAN 中信道的利用率问题.在未来通信系统中,为了在有限的频谱资源中尽量提高系统容量和频谱利用率,需要采用如 OFDM, MIMO 等新技术,而这些新技术的出现都离不开多信道技术的应用.因此在采用新技术的同时,应用多信道接入协议挖掘信道潜力,满足不同业务优先级的服务质量,将对未来通信的发展产生积极的影响.

Analysis on reservation-based multi-channel multiple access protocol with collision avoidance in WLAN

ZHANG Yu mei, ZHAO Dong-feng, YU Jiang

(Department of Communication Engineering, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: Aiming at the wireless local networks, a reservation-based stochastic multi-channel multiple access protocol with collision avoidance is presented. It integrates the ideas of multi-channel and reservation. This system is analyzed by means of the mean value based approach. And the formula for the mean value is obtained when the grouping messages are sent successfully. In the case of the same total bandwidth, the numerical results show that the performance is better than that of CSMA protocol with single channel.

Key words: multi-channel; collision avoidance; average cycle method; throughput; WLAN

参考文献:

- [1] Leonard Kleinrock, Fouad A Tobagi. Packet switching in radio channels: part I - carrier sense multiple access modes and their throughput delay characteristics [J]. IEEE Trans on Commun, 1975, COM - 23(12): 1 400-1 416.
- [2] ZHAO Dong feng, ZHEN Su min. Analysis of a slotted access channel with average cycle method [C] // Proceedings of 1996 International Conference on Communication Technology. Beijing: [s. n.], 1996.
- [3] 刘凯, 李建东. 基于多信道预约可冲突避免的多址接入协议[J]. 通信学报, 2002, 23(10): 25-32.
- [4] 刘次华. 随机过程[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001.
- [5] ZHAO Dong feng. A new analyzing approach to modeling slotted multiple access systems [J]. Journal of Electronics, 1999, 16(1): 44-50.
- [6] 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, 20(1): 27-41.
- [7] 李艳, 赵志峰, 邵世雷. 信道接入协议 FAMAC 的仿真实现与性能分析[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(12): 1 683-1 686.
- [8] 王亚宁, 赵东风, 孙权, 等. 数字集群移动通信系统随机手工业预约信道分析[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2002, 24(4): 269-273.