

支持智能自适应阵列天线的无线局域网媒体接入控制协议

赵力强，樊昌信

(西安电子科技大学 综合业务网与关键技术国家重点实验室 陕西 西安 710071)

摘要：在充分考虑 IEEE 802.11 无线局域网特点的基础上,提出支持智能自适应阵列天线的媒体接入控制协议 SADCF。智能天线包括全向和定向两种工作模式。在发送数据帧前尽可能短的时间内,SADCF 利用全向 RTS/CTS 握手机制预约信道,引导发送或接收站点发送训练序列。智能天线接收训练序列后计算出与该站点对应的权矢量,形成定向波束,定向收发数据帧。相邻站点用全向网络分配矢量记录发送站点以全向模式占用信道的时间,在发送站点定向通信的时候复用信道。SADCF 与 IEEE 802.11 协议完全兼容。仿真结果表明,SADCF 协议能够有效支持智能天线的应用,实现信道的空分复用,显著提高网络吞吐量。理论分析结果与仿真结果基本吻合。

关键词：无线局域网;IEEE 802.11;媒体接入控制协议;分布式协调功能;智能自适应阵列天线

中图分类号:TN915.9 文献标识码:A 文章编号:1001-2400(2004)04-0602-06

MAC protocol of WLAN using smart adaptive array antennas

ZHAO Li-qiang, FAN Chang-xin

(State Key Lab. of Integrated Service Networks, Xidian Univ., Xi'an 710071, China)

Abstract: Based on the characteristics of IEEE 802.11 WLAN, a medium access control protocol SADCF is proposed to support smart adaptive array antennas. A smart antenna has omnidirectional and directional operation modes. In SADCF, before sending any data frame, the station stimulates the corresponding station to transmit a training sequence by means of omnidirectional RTS/CTS handshake mechanism. Based on the training sequence, the directional beam can be formed by the smart antenna. Then the station can transmit and receive data frames in directional mode. Other stations save the transmission time of the sender in omnidirectional mode by using the omnidirectional network allocation vector, and multiplex channel when it transmits in directional mode. SADCF is compatible with IEEE 802.11. Simulation results show that the SADCF protocol can support smart antennas effectively and provide high throughput by multiplexing the channel, and results of the analysis are close to the simulation results.

Key Words: WLAN; IEEE 802.11; MAC; DCF; smart adaptive array antenna

近年来,无线局域网(WLAN)作为高速无线接入技术得到广泛应用。IEEE 802.11 分布式协调功能(DCF)是目前最流行的 WLAN 标准^[1],而且支持移动 Ad Hoc 网络(MANET),但 DCF 仅支持普通全向天线。如果各站点采用智能自适应阵列天线,可以有效对抗多径衰落与同信道干扰,显著提高系统容量,因而具有很好的应用前景。由于信道的时变性、站点的移动性和数据帧的突发性等因素的影响,各站点的智能天线对每个数据帧都需要获得与目标站点对应的权矢量以实现定向通信。仅依靠智能天线本身难以简捷准确地实现上述目标^[2],因此需要研究支持智能天线的媒体接入控制(MAC)协议。文[3~6]只考虑智能天线在蜂窝网络基站中的应用。车载或背负式移动台能承受复杂的通信设备,所以智能天线可能很快应用于其中。文[7]采用定向 RTS/CTS 机制将智能天线应用于移动台,但需要增加位置跟踪功能。文[8]采用全向 RTS/CTS 机制支持智能天线,但不支持空分复用。根据 IEEE 802.11 的特点,笔者提出基于全向虚拟载波监测机制的 SADCF 协议,以

收稿日期 2003-09-02

基金项目 国家自然科学基金资助项目(69896245);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目

作者简介 赵力强(1971-)男,西安电子科技大学博士研究生。

万方数据

支持智能天线和实现空分复用。

1 SADCF 协议

如果将智能天线用于站点分布密集的网络,主波束内往往有多个站点,这时难以充分实现空分复用,所
以文中仅考虑将智能天线应用于站点分布稀疏的网络,即主波束覆盖范围内只有一个站点,发射或接收站点
不会与主波束覆盖范围之外的站点相互干扰。智能天线具有全向和定向两种工作模式,定向模式采用基于训
练序列的自适应波束形成,这种方法简单实用,并且适合在移动环境中使用。智能天线系统工作于全向模式
时与普通的全向天线性能基本相同。

DCF 采用 RTS/CTS 握手机制和网络分配矢量(NAV)实现虚拟载波监测(VCS)功能^[1]。如图 1 所示,发送方 A 首先发送 RTS 控制帧,接收方 B 如果正确接收 RTS 帧,在时间间隔 SIFS 后立即返回 CTS 控制帧。A 收到 CTS 帧,就知道已成功预约信道,在 SIFS 后发送数据帧。如果 A 正确接收 B 返回的 ACK 控制帧,就知道自己的数据帧已成功发送。RTS 和 CTS 帧帧头 duration 域的值分别

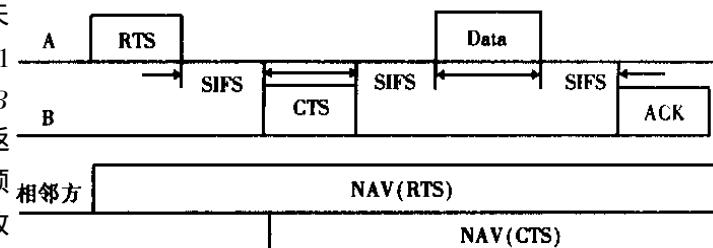


图 1 虚拟载波监测机制的基本原理

为 $RTS + SIFS + CTS + SIFS + Data + SIFS + ACK$ 和 $CTS + SIFS + Data + SIFS + ACK$ (Data 为数据帧的长度),这是 A 和 B 占用信道的时间。如果相邻站点监听到的 duration 值大于自己当前 NAV 值,就用该信息更新各自的 NAV。NAV 是一个倒计时的计数器,只有当 NAV 的值为零时,各站才能竞争信道,这样可以实现 VCS 功能。

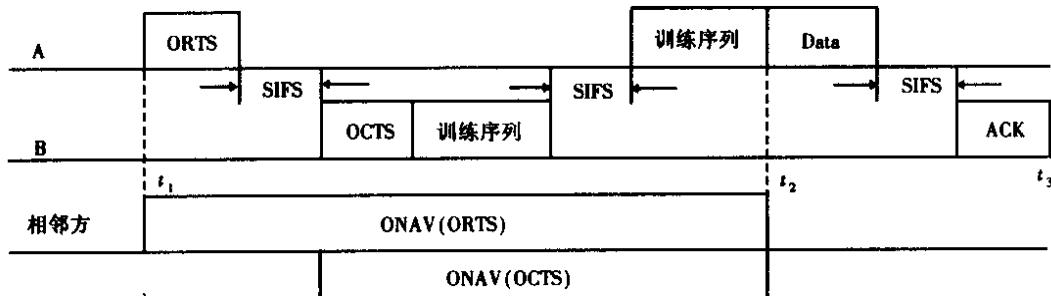


图 2 全向虚拟载波监测机制的基本原理

SADCF 的核心思想是采用全向 RTS/CTS 帧(ORTS/OCTS)和全向 NAV(ONAV)实现全向虚拟载波监测(OVCS)功能,如图 2 所示。ORTS/OCTS 与 RTS/CTS 的帧结构基本相同,区别仅在于 MAC 帧头的 subtype 域。RTS 和 CTS 帧的 subtype 域分别为 1011 和 1100^[1],ORTS 和 OCTS 帧的 subtype 域分别为 0011 和 1100。IEEE 802.11 将这两个值保留未用,因此 SADCF 提出的 ORTS/OCTS 帧不会与 DCF 原有的各种帧发生冲突。在开始通信时,A 的智能天线系统地获得与 B 对应的权矢量,因此 A 首先以全向模式发送 ORTS 帧,B 以全向模式返回 OCTS 帧和训练序列。A 以全向模式接收训练序列后,通过自适应算法计算出与 B 对应的权矢量。由于各站点均使用相同的频率,在间隔时间相对于信道变化速率足够短的条件下,收发信道的相关性较强,可以利用接收信道信息来估计发送信道,即 A 接收信号时使用的权矢量可用于发送信号的波束形成。A 以定向模式发送训练序列和数据帧,B 以全向模式接收训练序列,以定向模式接收数据帧和发送 ACK 帧。A 以定向模式接收 ACK 帧,在(t_1, t_2)时间内 A 或 B 处于全向收发状态,相邻站点不能复用信道。在(t_2, t_3)时间内 A 和 B 处于定向收发状态,相邻站点可以复用信道。相邻站点在接收到 A 或 B 全向发送的 ORTS 或 OCTS 帧后,启动各自的 ONAV。ONAV 与 NAV 的功能相同。ORTS 和 OCTS 帧 duration 域的值分别为 $ORTS + SIFS + OCTS + I$ 和 $OCTS + I + SIFS + K$ (I 为训练序列的长度)。这是 A 和 B 全向收发数据的时间,将该值作为 ONAV 的初始值。在(t_1, t_2)时间内 ONAV 不为零,各站点不能竞争信道。在(t_2, t_3)时间内 ONAV 值为零,各站点可以竞争信道,实现空分复用。

在实际使用中,WLAN 中既有配备智能天线的站点也有配备普通全向天线的站点,比如,A 配备智能天线,B 配备普通天线,二者之间的通信采用 ORTS/CTS 或 RTS/OCTS 的混合机制。^① A 向 B 发送数据:A 首先以全向模式向 B 发送 ORTS 帧,B 发送 CTS 帧和训练序列;A 以定向模式发送数据帧,但不发送训练序列;B 发送 ACK 帧,A 以定向模式接收。其他站点根据 ORTS 和 CTS 帧判断出发送方配备智能天线,接收方配备普通天线,设置各自的 NAV。^② B 向 A 发送数据:B 首先向 A 发送 RTS 帧,A 以全向模式发送 OCTS 帧,但不发送训练序列;B 发送训练序列和数据帧,A 以定向模式接收数据帧和发送 ACK 帧。其他站点根据 RTS 和 OCTS 帧判断出发送方配备普通天线,接收方配备智能天线,设置各自的 NAV。显然,SADCF 与 DCF 完全兼容,可以工作在同一个 WLAN。

在混合方式下配备普通天线的站点处于全向收发状态,因此相邻站点不能复用信道。但混合方式可以部分解决暴露站点问题。暴露站点是指在发送方覆盖范围之内而在接收方覆盖范围之外的站点。暴露站点因能够收听到发送方的发送而推迟自己的发送,如图 3 所示。当 A 向 B 发送数据时,C 处在 A 的覆盖范围内而处在 B 的覆盖范围外。暴露站点 C 因收听到 A 的发送而推迟向 D 发送数据,但实际上这并不会影响 A 向 B 的发送。在 DCF 中,如果 C 向 D 发送 RTS 帧,来自 D 的 CTS 帧会与 A 发送的数据帧在 C 处发生碰撞。C 收不到 D 的 CTS 帧,不断重发 RTS 帧。这样,C 不但没能向 D 发送数据帧,反而反复发送 RTS 帧。在 SADCF 中,只要 A 配备智能天线,无论 B 配备何种天线,在 A 定向收发的时候,C 就可以与 D 通信。

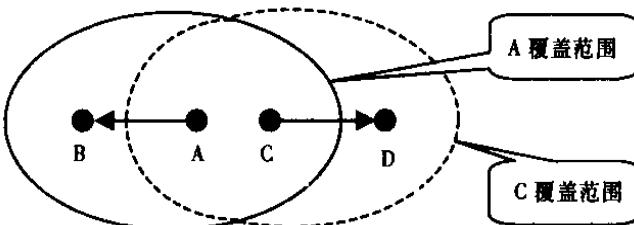


图 3 暴露站点问题

2 SADCF 系统吞吐量的性能分析

DCF 主要基于带碰撞退避的载波检测多址接入协议(CSMA/CA)和时隙制退避策略^[1]。各站点在监测到信道空闲时间大于 DIFS 后选择退避时间进入退避过程,退避结束后发送数据帧,否则延迟接入直至监测到 DIFS。退避时间是时隙长度 σ 的整数倍,退避时隙数是一个均匀分布在 $[0, C_W - 1]$ 上的随机整数。 C_W 是介于 $C_{W_{\min}}$ 和 $C_{W_{\max}}$ 之间的整数。第一次发送某帧时, $C_W = C_{W_{\min}}$,如果该帧发生碰撞, C_W 加倍,然后重传该帧;在 $C_W = C_{W_{\max}}$ 后,如果发生碰撞, C_W 不再增加。假设各站点都配备智能天线,到达各站点的数据分组服从泊松分布,平均分组到达率为 u 。假设各站点每次发送数据帧时,数据帧的碰撞概率与过去的碰撞次数无关,即碰撞概率 p 恒定有相互独立。文中采用三维 Markov 链 $\{\alpha(t), s(t), b(t)\}$ 描述某个站点的竞争过程,如图 4 所示。 $\alpha(t)$ 表示在时刻 t 该站点发送缓冲区中是否包含数据。如果没有数据, $\alpha(t) = 0$;如果有数据, $\alpha(t) = 1$ 。 $s(t)$ 表示 $\alpha(t) = 1$ 时,该站点在时刻 t 的退避级数^[9],取值范围为 $[0, m]$, m 代表最大退避级数。 $b(t)$ 表示 $\alpha(t) = 1$ 时,该站点的退避时隙计数器在时刻 t 的取值^[9],取值范围为 $[0, W_j - 1]$, $W_j = 2^j W_0$, $W_0 = C_{W_{\min}}$, $j \in [0, m]$ 。三维随机过程 $\{\alpha(t), s(t), b(t)\}$ 的状态和时间都是离散的,在时刻 $t + 1$ 的状态 $\{\alpha(t+1), s(t+1), b(t+1)\}$ 只与前一个时刻 t 的状态 $\{\alpha(t), s(t), b(t)\}$ 有关,与时刻 t 以前的状态无关。所以,随机过程 $\{\alpha(t), s(t), b(t)\}$ 是 Markov 链。

令 $P\{i_1, j_1, k_1 | i_0, j_0, k_0\} = P\{\alpha(t+1) = i_1, s(t+1) = j_1, b(t+1) = k_1 | \alpha(t) = i_0, s(t) = j_0, b(t) = k_0\}$,由图 4 可得:

$$P\{1, j, k | 1, j, k + 1\} = 1, \quad 0 \leq k \leq W_j - 2, \quad 0 \leq j \leq m; \quad (1)$$

$$P\{1, j + 1, k | 1, j, 0\} = p/W_{j+1}, \quad 0 \leq k \leq W_{j+1} - 1, \quad 0 \leq j \leq m - 1; \quad (2)$$

$$P\{1, m, k | 1, m, 0\} = p/W_m, \quad 0 \leq k \leq W_m - 1; \quad (3)$$

$$P\{0, 0, 0 | 1, j, 0\} = 1 - p, \quad 0 \leq j \leq m; \quad (4)$$

$$P\{0, 0, 0 | 0, 0, 0\} = \exp(-u\sigma); \quad (5)$$

$$P\{0, 0, 0 | k, 0, 0\} = (1 - \exp(-u\sigma))/W_0, \quad 0 \leq k \leq W_0 - 1. \quad (6)$$

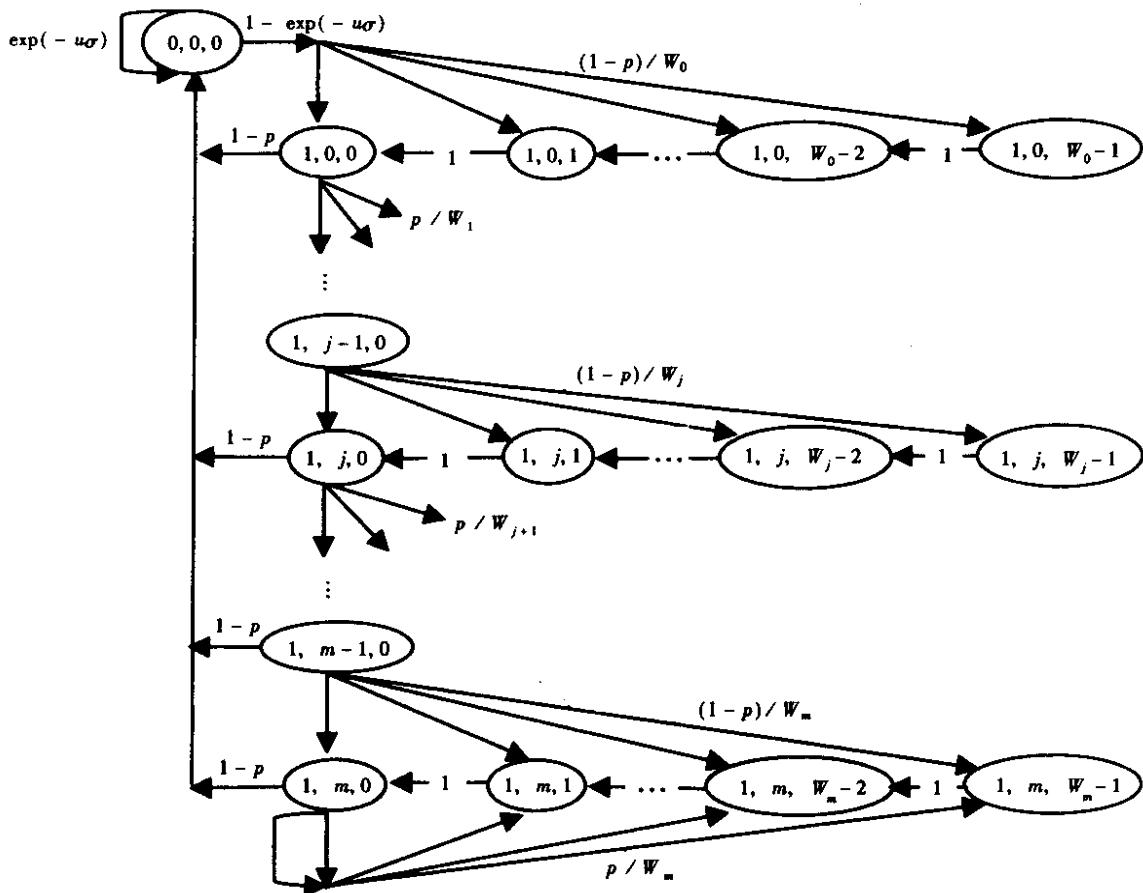


图4 三维Markov链模型

式(1)表示,在退避过程中,退避计时器在每个时隙的开始时刻减1;式(2)表示当退避级数为 j 时,如果发送失败,退避级数加1,退避计时器的取值等概率地从 $[0, W_{j+1}-1]$ 选取;式(3)表示当退避级数已经达到最大时,如果发送失败,退避级数不变。式(4)表示站点将发送缓冲区内所有的分组成功发送出去后,进入空闲状态;式(5)表示如果没有新的分组到达,站点保持空闲;式(6)表示,如果新的分组进入发送缓冲区,站点进入退避过程,退避级数为0,退避计时器的取值等概率地从 $[0, W_0-1]$ 选取。

令 $b_{i,j,k} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{\zeta(t) = i, s(t) = j, b(t) = k\}, i = \{0, 1\}, 0 \leq j \leq m, 0 \leq k \leq W_j - 1$ 。由图4可得:

$$b_{1,j-1,0} \cdot p = b_{1,j,0} \Rightarrow b_{1,j,0} = p^j b_{1,0,0}, \quad 1 \leq j \leq m-1; \quad (7)$$

$$b_{1,m-1,0} \cdot p = (1-p)b_{1,m,0} \Rightarrow b_{1,m,0} = (p^m \wedge (1-p))b_{1,0,0}; \quad (8)$$

$$b_{1,j,k} = \frac{W_j - k}{W_j} \cdot \begin{cases} (1-p) \sum_{h=0}^m b_{1,h,0}, & j = 0, \\ p \cdot b_{1,j-1,0}, & 0 < j < m, k \in [1, W_j - 1], \\ p \cdot (b_{1,m-1,0} + b_{1,m,0}), & j = m, \end{cases} = \frac{W_j - k}{W_j} b_{1,j,0}, \quad 0 \leq j \leq m, 0 \leq k \leq W_j - 1; \quad (9)$$

$$\begin{cases} b_{0,0,0} \cdot \exp(-u\sigma) = b_{1,0,0} \Rightarrow b_{0,0,0} = b_{1,0,0} \wedge (1 - \exp(-u\sigma)), \\ b_{0,j,k} = 0, \quad j \neq 0, k \neq 0. \end{cases} \quad (10)$$

所有的 $b_{i,j,k}$ 都可以用 $b_{1,0,0}$ 和 p 表示,而且 $\sum_{i=0}^1 \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^{W_j-1} b_{i,j,k} = 1$ 。因此,可以求出 $b_{1,0,0}$ 。

不论退避级数是多少,只要退避计时器为零,各站点就发送数据。因此,某个站点在任意时隙发送数据帧

的概率为

$$\tau = \sum_{j=0}^m b_{1,j} p = \frac{\chi(1 - \exp(-u\sigma))(1 - 2p)}{\chi(1 - 2p)(1 - p) + (1 - \exp(-u\sigma))(1 - 2p)(W_0 + 1) + pW_0(1 - (2p)^m)} . \quad (11)$$

如果除了当前站点外,剩余 $n - 1$ 个站点中至少有一个站点也在 (t_1, t_2) 发送数据,那么就会发生碰撞。系统稳定后,各站点的发送概率都为 τ ,因此碰撞概率为

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} . \quad (12)$$

求解非线性方程组(11)和(12),可得 τ 和 p .

所以在任意时隙内至少一个站点发送数据的概率为

$$P_{tr} = 1 - (1 - \tau)^n . \quad (13)$$

在至少一个站点发送数据的条件下,且只有一个站点发送的概率为

$$P_s = n\tau(1 - \tau)^{n-1}/P_{tr} = n\tau(1 - \tau)^{n-1}[1 - (1 - \tau)^n] . \quad (14)$$

因此,时隙分为 3 种状态:成功传输数据帧(概率 $P_{tr}P_s$,时间 T_s);信道冲突概率 $P_{tr}(1 - P_s)$ 时间 T_c ;信道空闲(概率 $1 - P_{tr}$,时间 σ)。由图 2 可得

$$\begin{cases} T_s = \text{DIFS} + \text{ORTS} + \text{SIFS} + \text{OCTS} + I + \text{SIFS} + I \\ T_c = \text{DIFS} + \text{ORTS} \end{cases} , \quad (15)$$

数据帧包括帧头和有效载荷,令平均有效载荷为 E ,则归一化的系统吞吐量为

$$S = \frac{\text{一个时隙内传输有效载荷的平均时间}}{\text{时隙的平均长度}} = \frac{P_{tr}P_s E}{P_{tr}P_s T_s + P_{tr}(1 - P_s)T_c + (1 - P_{tr})\sigma} . \quad (16)$$

3 仿 真

采用计算机仿真 SADCF 协议的性能。仿真中未考虑信道误码与传播时延,仿真参数服从 IEEE 802.11b 协议^[10],如表 1 所示,ORTS/OCTS 与 RTS/CTS 的帧长相同。在 SADCF 中,各站点皆配备智能天线。

表 1 仿真参数

信道速率	σ	SIFS	DIFS	$C_{W_{min}}$	$C_{W_{max}}$	RTS	CTS	ACK
11 Mb/s	$20\mu s$	$10\mu s$	$50\mu s$	32	1024	20 Byte	14 Byte	14 Byte

当分组到达率 $u = 48$ 分组/s,数据帧有效载荷 $E = 1023$ Byte,训练序列 $I = 25$ Byte 时,SADCF 与 DCF 的吞吐量如图 5 所示。SADCF 支持空分复用,吞吐量远远高于 DCF。

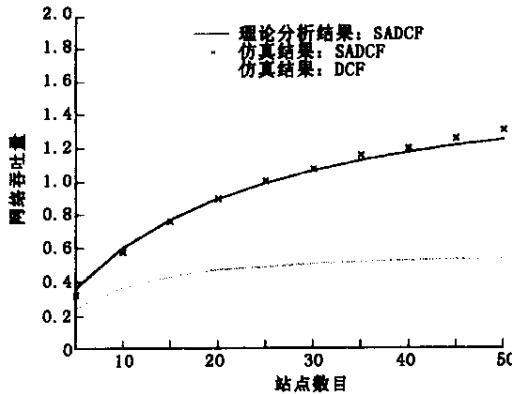


图 5 网络吞吐量(SADCF vs. DCF)

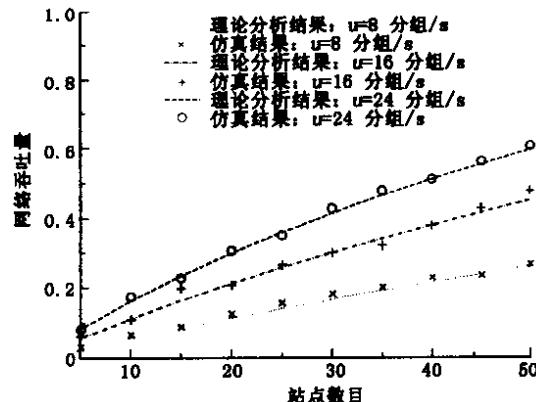


图 6 网络吞吐量与分组到达率

当 $E = 1027$ Byte, $I = 25$ Byte 时,SADCF 吞吐量与分组到达率的关系如图 6 所示。随着分组到达率的增大,处于空闲状态的站点数减少,竞争信道的站点数增多,空分复用的优势更加明显,吞吐量增大。

当 $u = 24$ 分组/s, $I = 25$ Byte 时,SADCF 吞吐量与数据帧有效载荷的关系如图 7 所示。由于帧头、控制

帧和训练序列带来的额外网络开销,吞吐量与数据帧有效载荷的大小有关。数据帧的有效载荷越大,信道可复用的时间越长,吞吐量越大。

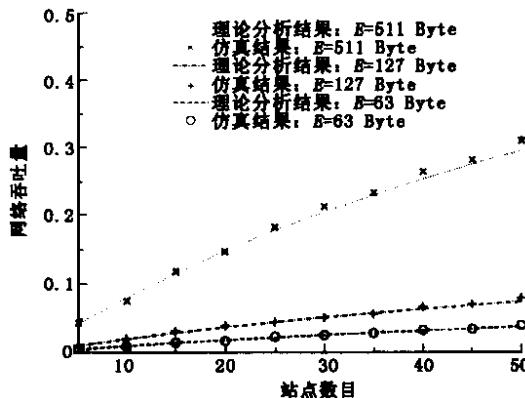


图7 网络吞吐量与数据帧有效载荷

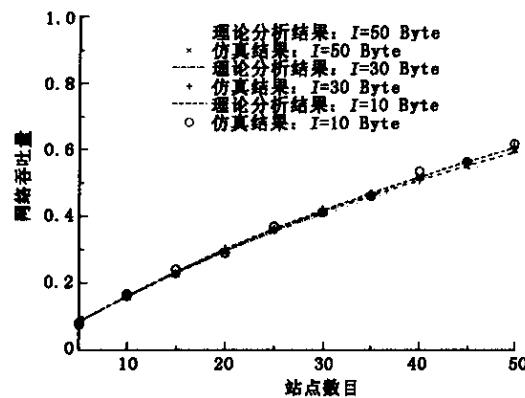


图8 网络吞吐量与训练序列长度

当 $E = 1023\text{ Byte}$, $u = 24\text{ 分组/s}$ 时 SADCF 吞吐量与训练序列的关系如图 8 所示。训练序列对吞吐量的影响十分有限,而训练序列的使用将显著降低智能天线的实现难度。

此外,SADCF 的理论值与仿真值基本吻合,说明文中提出的分析模型是合理的。

4 结 论

在充分考虑 IEEE 802.11 无线局域网特点的基础上,提出支持智能自适应阵列天线的媒体接入控制协议 SADCF。基于全向虚拟载波监测的 SADCF 以全向模式预约信道,以定向模式传输数据,有效地实现信道的空分复用从而显著提高网络吞吐量。

参考文献:

- [1] IEEE Standard 802.11. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification [S]. 1999.
- [2] Acampora A S. A New Adaptive MAC Layer Protocol for Broadband Packet Wireless Networks in Harsh Fading and Interference Environment [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 2000, 8(3):328-336.
- [3] Ward J, Jr Compton R T. High Throughput Slotted ALOHA Packet Radio Networks with Adaptive Arrays [J]. IEEE Trans on Commun, 1993, 41(3):460-470.
- [4] Sakr C, Todd T D. Carrier-sense Protocols for Packet-switched Smart Antenna Base Stations [A]. IEEE ICNP'97[C]. Atlanta: IEEE, 1997. 45-52.
- [5] Shad F, Todd T D. Dynamic Slot Allocation (DSA) in Indoor SDMA/TDMA Using a Smart Antenna Base Station [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 2001, 9(1):69-81.
- [6] Krishnamurthy S V, Acampora A S, Zorzi M. Polling-based Media Access Protocols for Use with Smart Adaptive Array Antenna [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 2001, 9(2):148-161.
- [7] Ko Y, Shankarkumar V, Vaidya N H. Medium Access Control Protocols Using Directional Antennas in Ad Hoc Networks [A]. IEEE INFOCOM[C]. Israel: Tel Aviv, 2000. 13-21.
- [8] Nasipuri A, Ye Shengchun, Hiromoto R E. A MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks Using Directional Antennas [A]. IEEE WCNC[C]. Chicago: IL, 2000. 1214-1219.
- [9] Bianchi G. Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function [J]. IEEE Journal on SAC, 2000, 18(3):535-547.
- [10] 裴珂,晋晓辉,杨帆等.无线网卡的设计与实现[J].西安电子科技大学学报,2000,27(6):790-794.

(编辑:李维东)

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频培训课程和 1 本图书教材，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件设计进行天线设计…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>

关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>