

# 无线 Ad Hoc 网络中支持智能天线的 TDMA 多址接入协议<sup>\*</sup>)

张光辉 李建东 张文柱 周雷

(西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室 信息科学研究所 宽带无线通信实验室 西安 710071)

**摘要** 介绍和分析了无线 Ad Hoc 网络中自适应波束形成时分多址接入协议 ABF-TDMA。ABF-TDMA 是基于 TDMA 和智能天线技术来实现无冲突预约和波束形成,允许每对通信节点在每个时隙预约和训练来保证存在隐藏终端情况下的无冲突的预约和波束形成。成功预约和训练后,数据分组可以以自适应波束形成方式发送。本文分析了在全连通网络下不同分组长度、节点数和重发限制下 ABF-TDMA 的通过率和时延。仿真结果显示,ABF-TDMA 可以获得高通过率、低时延、较小的时延抖动和丢包率,特别是分组长度较长和节点数较多情况下。

**关键词** 时分多址接入,智能天线,自适应波束形成,无线 Ad Hoc 网络

## TDMA Protocol with Smart Antenna in Wireless Ad Hoc Networks

ZHANG Guang-Hui LI Jian-Dong ZHANG Wen-Zhu ZHOU Lei

(Broadband Wireless Communications Lab., Information Science Institute, State Key Lab. of Integrated Service Networks, Xidian University, Xi'an 710071)

**Abstract** A novel MAC protocol called adaptive beamforming time division multiple access (ABF-TDMA) for mobile Ad Hoc networks with smart antennas is introduced and analyzed, and is based on TDMA and smart antenna (SA) for collision-free reservation and beamforming, and allows a pair of communication nodes to reserve and handshake on every slot to guarantee collision-free reservation and training in the presence of hidden terminals. After successful reservation and training, data packet can be transmitted from source node to destination node with adaptive beamforming. We analyze the throughput and delay of ABF-TDMA for the case of a fully connected network assuming variable-length packets, different number of nodes and retry limit. Simulation results show that ABF-TDMA can achieve high throughput, low delay, small delay jitter and packet loss ratio, especially when the average packet length and number of nodes are large.

**Keywords** TDMA, Smart antenna, Adaptive beamforming, Ad Hoc networks

## 1 引言

无线 Ad Hoc 网络是一种不需要固定基础设施支撑的移动、多跳、自组织无线网络,具有容易安装和自组织的优点,在军事领域和商业领域都有广泛的应用前景<sup>[5]</sup>。Ad Hoc 主要特点有:动态拓扑、带宽受限、可变链路容量、能量受限、多跳等。但是,Ad Hoc 网络的这些特点也对路由和多址接入提出较大的挑战。本文主要侧重多址接入的研究。

在移动 Ad Hoc 网络动态时变的环境下,MAC 协议应当保证网络有高通过率、低时延、极小的时延抖动和丢包率。目前 MAC 协议主要分为两类,第一类主要是基于 CSMA/CA 的,IEEE 802.11<sup>[6]</sup> 是这一类型协议的典型代表。MACA<sup>[7]</sup> 是第一个采用 RTS/CTS 握手机制的,发送节点在发送数据前先发送 RTS 给接收节点。接收节点收到 RTS 后,马上回应一个 CTS。发送节点收到 CTS 后再发送数据。而其他收到 RTS/CTS 的节点将会退避发送。其他基于 RTS/CTS 的协议还有 MACAW<sup>[8]</sup>、TSMA<sup>[9]</sup>、FAMA<sup>[10]</sup> 等。第一类多址

协议是异步的,并且允许随机接入信道。在业务量较大的情况下,这类多址接入协议碰撞较大,降低了效率,而且没有很好地解决隐藏终端和暴露终端问题。第二类协议主要是时分多址接入(TDMA)。TDMA 中,每个节点分配一个固定时隙,从而保证无冲突传输。相对于随机接入,TDMA 提高了很好的信道控制,提高了信道利用率。已经证明,所有随机接入所达到的信道利用率,TDMA 都可以达到<sup>[11]</sup>。并且,当网络重负荷下和负载混合业务下,TDMA 是一个理想的接入方法。然而,目前几乎所有的 TDMA 都假设知道一跳或两跳内的邻节点信息,因此这不太适合移动 Ad Hoc 网络。通常,最佳时隙分配是一个 NP hard 问题。

而且无论第一类还是第二类协议都不能单独达到高通过率、低时延、极小的时延抖动和丢包率的要求。伴随近来天线技术的进步和自适应算法的发展,智能天线已成为可能,并将成为未来移动网络中一个主要组成部分<sup>[4]</sup>。为了保证系统有高通过率、低时延、极小的时延抖动和丢包率,本文提出了把 RTS/CTS 握手机制、TDMA 和自适应波束形成相结合的协

<sup>\*</sup>)国家自然科学基金和微软亚洲研究院联合资助项目(60372048)(大规模宽带无线自适应 Ad Hoc 网络)、高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划(英文缩写为“TRAPOYT”)、国家自然科学基金重大项目 60496316(新型载波系统和智能无线媒体接入技术)、国家 863 课题 2005AA123910“认知无线电技术研究”、教育部科学技术研究重点项目(104171)(大规模宽带无线分布式网络关键技术)、高等学校博士学科点专项科研基金(20050701007)。张光辉 博士研究生,研究方向为 Ad Hoc 网络的多址接入;李建东 教授,博士生导师,研究领域包括分组无线网络、移动 IP 和软件无线电;张文柱 博士生,研究方向为 Ad Hoc 网络路由;周雷 博士生,研究方向为多载波调制。

议,即 ABF-TDMA。本文第 2 部分提出了系统模型。第 3 部分描述了 ABF-TDMA 协议。在第 4 部分分析了 ABF-TDMA 的性能。第 5 部分通过仿真估计了 ABF-TDMA 的性能,最后是结论。

## 2 系统模型

Ad Hoc 网络是一个时变、多跳网络,可以用图  $G(V, E)$  描述,其中  $V$  表示节点集合,  $E$  表示链路集合,  $N = |V|$  表示网络中节点的数目<sup>[1]</sup>。

本文将具有自适应波束形成的智能天线考虑在发送和接收阶段,并且时间被分成固定长度的时隙,每个节点固定分配一个时隙,每个时隙仅用来预约和训练。自适应波束形成的目的是允许所有发送节点可以同时成功发送数据,这样整个网络的通过率就会最大化,并且冲突被认为是传输失败的主要原因。我们把冲突分为第一类冲突和第二类冲突两类。

假设节点  $i$  想要发送数据给节点  $j$ , 并且在自己的时隙  $i$  预约。为了从  $i$  到  $j$  的传输成功,两个条件必须满足:首先,节点  $j$  在时隙  $i$  没有正在传输数据,即节点  $j$  在时隙  $i$  处于接收状态,节点  $i$  在时隙  $i$  发送的预约分组可以被节点  $j$  正确接收。其次,预约成功后,节点  $i$  和  $j$  之间的链路可以成功传输分组的条件是节点  $j$  的信噪比超过一个门限,即

$$SINR(i, j) = \frac{P_{i,j}}{N_r + \sum_{k \in N, k \neq i, j} P_{k,j}} \geq \gamma \quad (1)$$

其中,  $P_{i,j}$  表示节点  $j$  接收到节点  $i$  的信号功率,  $N_r$  是高斯白噪声及  $\sum_{k \in N, k \neq i, j} P_{k,j}$  是其他节点的干扰和<sup>[3]</sup>。如果以上两个条件都不满足,冲突就会发生。我们分别表示第一个和第二个条件为第一类和第二类冲突。

当自适应波束形成的智能天线考虑到发送和接收时,对于一个线性单位阵,有  $2M$  天线阵元,每个阵元间隔半波长,接收信号为<sup>[2]</sup>:

$$r(t) = \sum_{n=1}^{2M} s(t, \theta_n) W_n a_n(\theta_n) + \sum_{k=1}^Y \left[ \sum_{n=1}^{2M} I_k(t, \theta_k) W_n a_n(\theta_k) \right] + \sum_{n=1}^{2M} N_n(t) W_n \quad (2)$$

其中:  $s(t, \theta_n)$  是所要接收的信号,  $\theta_n$  是信道的到达角度;  $I_k(t, \theta_k)$  是总共  $Y$  个干扰信号中的第  $k$  个干扰信号,其到达角度为  $\theta_k$ ;  $N_n(t)$  是每个天线阵元的信道噪声;  $W_n$  和  $a_n(\theta)$  分别是每个阵元的加重权值和方向权值,所以(1)式就可以写成:

$$SINR(i, j) = \frac{\sum_{n=1}^{2M} s(t, \theta_n) W_n a_n(\theta_n)}{\sum_{k=1}^Y \left[ \sum_{n=1}^{2M} I_k(t, \theta_k) W_n a_n(\theta_k) \right] + \sum_{n=1}^{2M} N_n(t) W_n} \geq \gamma \quad (3)$$

因此,当智能天线采用自适应波束形成时,理想情况下就会允许所有发送节点可以同时成功发送数据而互相不会干扰,整个网络的通过率也就最大化。

## 3 协议介绍

在介绍协议之前,我们先假设以下条件:每个节点均配备一个 GPS 设备,节点均同步于 GPS;每个节点有一个独立的 ID(如 48 比特 MAC 地址);每个节点均工作在半双工状态,或发或收;每个节点有一个智能天线,智能天线有  $2M$  个阵元,工作在 ABF 方式。

ABF-TDMA 帧结构由  $N$  个时隙组成,如图 1 所示。每个节点固定分配一个时隙,每个时隙仅用来预约和训练。每

个时隙由 CS 时期和 CTS 时期组成。RTS 分组仅在每个源节点所属的时隙开始时刻发送,而 CTS 分组既可以在目的节点所属的时隙开始时刻发送,也可以在其他节点所属时隙的 CTS 时期发送。如果目的节点在该时隙的 CS 时期检测到信道空闲。

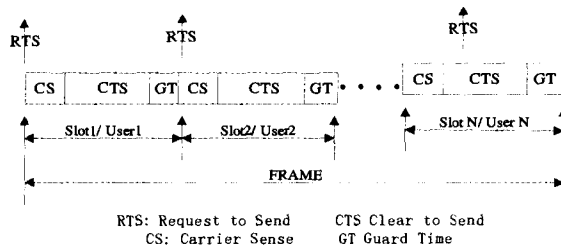


图 1 ABF-TDMA 帧结构

具体协议工作过程如下:如图 2 所示,如果源节点  $i$  有数据发送,它首先在其所属时隙  $i$  以全向方式发送 RTS 分组(其由训练序列和 MAC 地址等组成),否则它在其他时隙均保持接收状态。目的节点正确接收了 RTS 分组后就立即在其所属时隙以 ABF 方式回应 CTS 分组(其由训练序列和 MAC 地址等组成)。既然,每个节点占用一个时隙,RTS 分组和 CTS 分组的传输就是无冲突的。一旦成功预约和训练,节点  $i$  就以 ABF 方式发送数据包,节点  $j$  也以 ABF 方式接收数据包。所有节点使用相同的训练序列,因此它很容易实施。为了减少 CTS 的时延,目的节点  $j$  成功接收到 RTS 分组后,在自己所属时隙之前一直要侦听信道。如果在某个时隙的 CS 时期侦听到信道空闲,就立即在该时隙的 CTS 时期以 ABF 方式发送 CTS 分组。一旦成功地交换了 RTS 和 CTS,数据分组就立刻在后续时隙中以 ABF 方式传输,并不会对其他传输产生干扰,也不会受其他传输影响。如果源节点  $i$  没有在目的节点  $j$  所属时隙  $j$  之前收到从目的节点  $j$  发送的 CTS 分组,源节点  $i$  就会在下一帧的自己所属时隙  $i$  重新发送 RTS 分组,直到重发次数达到重发限制。在图 2, (b-o) 代表发送节点工作在 ABF 方式和接收节点工作在全向方式。(o-o), (b-b), (o-b) 的含义类似于 (b-o)。

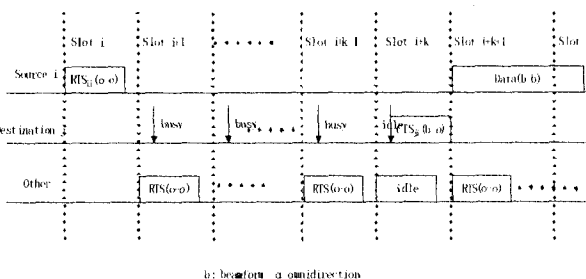


图 2 ABF-TDMA protocol

## 4 非饱和和通过率和时延分析

下面我们分析在全连通网络情况下的非饱和和通过率和时延,这里我们定义每个节点有 3 个状态:忙、预约和空闲。所谓忙态是指节点正在接收或发送数据;预约态是指节点没有正在发送数据分组,但是有数据分组请求发送;除以上两种,节点处于空闲态。每个节点可以看作是有启动时间即预约时间的  $M/G/1$  排队系统<sup>[12]</sup>。每个节点的平均服务时间为  $\bar{X} = E[X] = E[pk]$ , 节点  $i$  的新分组到达率为  $\lambda_i$  ( $1 \leq i \leq N$ ), 其中  $E[pk]$  为分组平均传输时间,则启动时间的均值和均方值分

别为  $\bar{Y}, \bar{Y}^2$ , 因为服务时间的均值和均方值分别为

$$\bar{X} = E[X] = E[pk] \quad (4)$$

$$\bar{X}^2 = E[X^2] = E[pk^2] = E[pk] \quad (5)$$

所以整个网络的通过率为

$$S = \sum_{i=1}^N \lambda_i \bar{X} = \sum_{i=1}^N \lambda_i E[pk] \quad (6)$$

到达节点  $i$  的所有分组达到率为(包括从其他节点到达的分组):

$$\lambda = \lambda_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N \lambda_j / (N-1) \quad (7)$$

则到达节点  $i$  的新分组的信道利用率为

$$\rho_i = \lambda_i \bar{X} \quad (8)$$

且到达节点  $i$  的所有分组的信道利用率及其剩余服务时间为

$$\rho = \lambda_i \bar{X} + \sum_{j=1, j \neq i}^N \lambda_j \bar{X} / (N-1) \quad (9)$$

$$W_0 = \lambda_i \bar{X}^2 / 2 + \sum_{j=1, j \neq i}^N \lambda_j \bar{X}^2 / 2 \quad (10)$$

则平均等待时间为<sup>[12]</sup>

$$W = \frac{W_0}{1-\rho} + \frac{2\bar{Y} + \lambda\bar{Y}^2}{2(1+\lambda\bar{Y})} \quad (11)$$

下面我们计算  $\bar{Y}, \bar{Y}^2$ .

节点  $i$  的忙概率为:

$$p_{i\_busy} = \lambda\bar{X} = \lambda_i \bar{X} + \sum_{j=1, j \neq i}^N \lambda_j \bar{X} / (N-1) \quad (12)$$

预约概率为

$$p_{i\_reserving} = (1 - p_{i\_busy}) (1 - e^{-\lambda N t_{slot}}) = (1 - p_{i\_busy}) (1 - e^{-\lambda_i N t_{slot} - \sum_{j=1, j \neq i}^N \lambda_j N t_{slot} / (N-1)}) \quad (13)$$

空闲概率为

$$p_{i\_idle} = 1 - p_{i\_busy} - p_{i\_reserving} \quad (14)$$

我们可以得到平均忙的概率为:

$$p_{busy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_{i\_busy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \lambda_i \bar{X} + \frac{1}{N} (N-1) \sum_{i=1}^N \lambda_i \bar{X} / (N-1) = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \lambda_i \bar{X} \quad (15)$$

和平均预约概率为:

$$p_{reserving} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_{i\_reserving} = 1 - p_{busy} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [1 - \sum_{j=1}^N \lambda_j \bar{X} / (N-1) - 1] e^{-\lambda_i N t_{slot} - \sum_{j=1, j \neq i}^N \lambda_j N t_{slot} / (N-1)} \quad (16)$$

并且分组到达和 RTS 开始传输之间的时延的均值和均方值分别为

$$E[D_{RTS}] = t_{slot} \sum_{j=2}^N \frac{1}{N-1} (j-1) = t_{slot} N / 2 \quad (17)$$

$$W[D_{RTS}^2] = t_{slot}^2 \sum_{j=2}^N \frac{1}{N-1} (j-1)^2 = t_{slot}^2 N(2N-1) / 6 \quad (18)$$

其中,  $L$  为重传次数限制值。

开始传输 RTS 和开始传输 CTS 之间的时延的均值和均方值分别为

$$E[T_{RTS}] = t_{slot} \left\{ \sum_{k=0}^L (1+kN) p_{busy}^k (1-p_{busy}) + [1+(L+1)N] p_{busy}^{L+1} \right\} = t_{slot} \left[ 1 + N p_{busy}^{L+1} + \frac{N p_{busy} (1-p_{busy}^L)}{1-p_{busy}} \right] \quad (19)$$

$$E[T_{RTS}^2] = t_{slot}^2 \left\{ \sum_{k=0}^L (1+Nk)^2 p_{busy}^k (1-p_{busy}) + [1+(L+1)N]^2 p_{busy}^{L+1} \right\} = t_{slot}^2 \left\{ 1 + (N^2 L + 2N + N^2) p_{busy}^{L+1} + \frac{p_{busy} (1-p_{busy}^L)}{1-p_{busy}} + N^2 \left[ \frac{2 p_{busy}^2 (1-p_{busy}^L)}{(1-p_{busy})^2} + \right. \right.$$

$$\left. \frac{p_{busy} (1-p_{busy}^L - L p_{busy}^{L-1} - L p_{busy}^{L+1})}{1-p_{busy}} \right\} \quad (20)$$

CTS 开始传输和 CTS 被正确接收之间的时延的均值和均方值分别为

$$E[T_{CTS}] = t_{slot} \left[ \sum_{k=1}^{E[d]-1} p_{reserving}^{k-1} (1-p_{reserving}) k + p_{reserving}^{E[d]-1} E[d] + 1 \right] = t_{slot} \left[ (1-p_{reserving}^{N/2-1}) / (1-p_{reserving}) + p_{reserving}^{N/2-1} + 1 \right] \quad (21)$$

$$E[T_{CTS}^2] = t_{slot}^2 \left[ \sum_{k=1}^{E[d]-1} p_{reserving}^{k-1} (1-p_{reserving}) k^2 + p_{reserving}^{E[d]-1} E[d]^2 + 1 \right] + 2 t_{slot}^2 \left[ p_{reserving}^{E[d]-1} E[d]^2 + \sum_{k=1}^{E[d]-1} p_{reserving}^{k-1} (1-p_{reserving}) k^2 \right] = 2 t_{slot}^2 \left[ (1-p_{reserving}^{N/2-1}) / (1-p_{reserving}) + p_{reserving}^{N/2-1} + t_{slot} [ p_{reserving}^{N/2-1} (N/2)^2 + 1 ] + t_{slot} (1-p_{reserving}) / p_{reserving} \left\{ \frac{-N/2(N/2-1) p_{reserving}^{N/2}}{1-p_{reserving}} + p_{reserving} [ 1 - p_{reserving}^{(N/2-1)} - (N/2-1) p_{reserving}^{N/2-1} - (N/2-1) p_{reserving}^{N/2} ] / (1-p_{reserving})^2 + \frac{2 p_{reserving}^2 (1-p_{reserving}^{N/2-1})}{(1-p_{reserving})^3} \right\} \right] \quad (22)$$

因此, 启动时间的均值和均方值分别为

$$\bar{Y} = E[V] = E[D_{RTS}] + E[T_{RTS}] + E[T_{CTS}] \quad (23)$$

$$\bar{Y}^2 = E[V^2] = E[D_{RTS}^2] + E[T_{RTS}^2] + E[T_{CTS}^2] + 2E[D_{RTS}] E[T_{RTS}] + 2D[E[T_{RTS}]] E[T_{CTS}] + 2E[T_{RTS}] E[T_{CTS}] \quad (24)$$

将以上结果代入到(11)式, 即可得到平均等待时间, 所以平均时延为

$$T = W + \bar{X} = \frac{W_0}{1-\rho} + \frac{2\bar{Y} + \lambda\bar{Y}^2}{2(1+\lambda\bar{Y})} + pk \quad (25)$$

## 5 仿真结果

### 5.1 仿真模型

我们通过仿真来评估 ABF-TDMA 协议。每个节点的数据分组以泊松过程产生。对于每个分组, 我们随机选择一个邻节点作为目的节点。业务负载是整个网络平均每秒的数据分组的到达数。通过率(信道利用率)是每秒网络中成功接收的数据分组的比特数对信道速率的比值。仿真时间是 100s, 仿真结果是 500 个随机网络中的通过率、时延、时延抖动和丢包率的平均值(在 MANET, 有智能天线的网络通过率可以超过 1)。我们假设在 MANET 中, 只有一个目的节点在其发送节点的主瓣内。因此, 得到的结果是通过率的上限。其他仿真参数见表 1。仿真软件是 OPNET。

表 1 仿真参数

区域	200 * 200 m <sup>2</sup>
节点数	20, 40, 60, 80, 100
信道速率	1 Mbit/s
分组长度(字节)	200, 300, 500, 1000, 1500
RTS	224 bits
CTS	224 bits
分组头(H)	128 bits
CS 时期长	10 μs
Slot 长	220 μs
Retry limit	1, 5, 10
缓存长	∞
传输半径	300m

### 5.2 仿真结果

既然分组的传输时间相对是一个固定值,以下所有结果的时延都是未考虑分组传输时间的时延,准确来讲应为等待时间  $W$ 。我们首先比较了仿真结果和理论分析的结果。在图 3 和图 4 中  $S$  代表仿真结果,  $T$  代表理论分析结果。

图 3 比较了理论分析的非饱和和通过率及仿真获得的非饱和和通过率。从图中可以看出,在非饱和情况下,理论结果和仿真结果几乎是吻合的;但是在饱和情况下(从图 5 和图 9 可以看出  $N=100$ ,  $APL=1500$ bytes 和  $N=80$ ,  $APL=1500$ bytes 为饱和情况),理论结果和仿真结果就有一定的偏差,这是因为我们分析的仅仅是非饱和情况下的通过率。

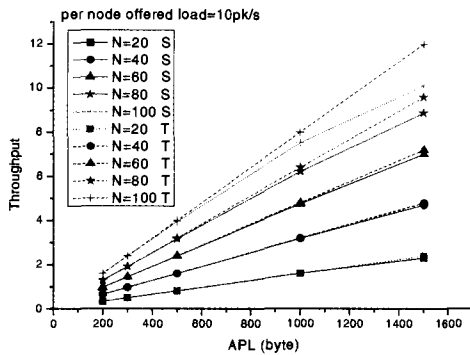


图 3 非饱和通过率的仿真结果与理论结果的比较

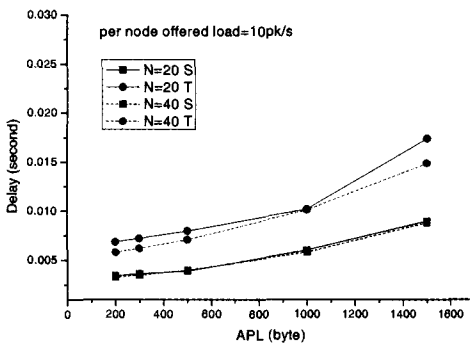


图 4 非饱和时延的仿真结果与理论结果的比较

图 4 比较了理论分析的非饱和时延和仿真获得的非饱和时延。从图中可以看出,在非饱和情况下,理论结果和仿真结果几乎是吻合的,但是仿真结果要稍稍高于理论分析的结果,这是因为我们在分析的过程中忽略了传播时延等的影响,而仿真结果是传播时延、传输时延、排队时延和处理时延之和。

下面我们通过仿真来分析参数对 ABF-TDMA 性能的影响。仿真结果见图 5 到图 16,这些图描绘了网络通过率、时延、时延抖动和丢包率在不同的平均分组长度、不同节点数和不同重发限制情况下随网络负载变化的曲线,反映不同的参数对网络性能的影响。这些图中曲线的左侧部分表示非饱和情况(各种情况不大一样,大约每个节点的分组达到率小于 10 分组/s 或 15 分组/s),而右侧部分显示了饱和情况。从这些图中的曲线可以看到,随着负载的增加,网络的通过率、时延、时延抖动和丢包率均随着增加。当达到饱和时,通过率、时延、时延抖动和丢包率均达到稳定的状态。虽然饱和时网络的通过率最大,但是时延、时延抖动和丢包率也是最大的。

图 5 到图 8 描绘了通过率、时延、时延抖动和丢包率在不同分组长度下随业务负载变化的曲线,其中网络有 100 个节点和重发限制为 5。我们可以看出,通过率随分组长度的增

长显著地增长,然而时延、时延抖动和丢包率几乎是不变的。这是因为 ABF-TDMA 在智能天线下允许许多并行传输:一旦预约成功,较大的分组可以预约信道更长时间,这样可以极大地减小开销和提高通过率。ABF-TDMA 在较大分组下更具有吸引力。

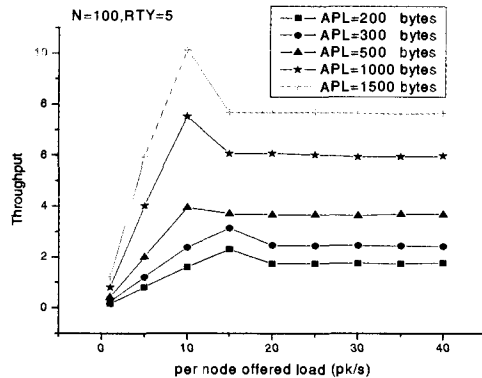


图 5 分组长度对 ABF-TDMA 通过率的影响

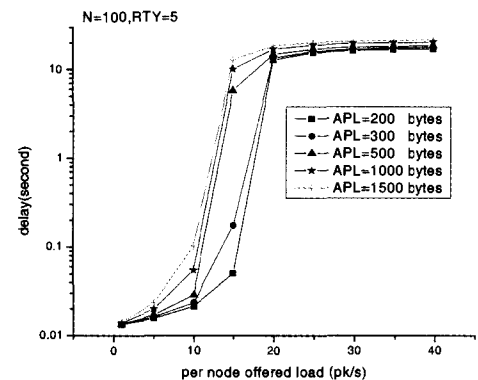


图 6 分组长度对 ABF-TDMA 时延的影响

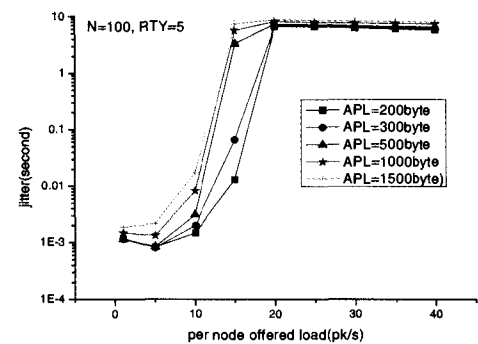


图 7 分组长度对 ABF-TDMA 时延抖动的影响

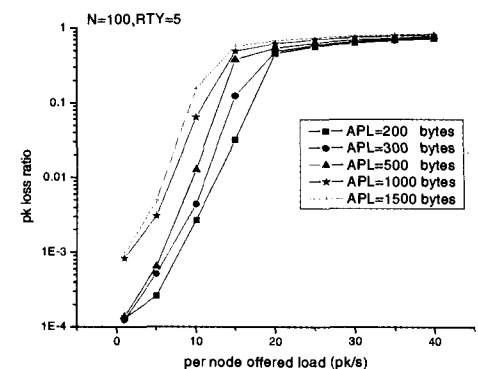


图 8 分组长度对 ABF-TDMA 丢包率的影响

图 9 到图 12 显示了通过率、时延、时延抖动和丢包率随

业务负载变化的曲线,其中系统的平均分组长度为 1000 字节,重传限制为 5,分别有 20,40,60,80,100 节点数。曲线表明通过率随节点数的增加也增加,但是增加的幅度不是很快,并且时延、时延抖动和丢包率也随着节点数的增加而增加。尽管 ABF-TDMA 可以有效地减小第二类冲突,但是不能解决第一类冲突。虽然节点数的增加提高了并行传输的可能,但是也增加了第一类冲突的概率,这也就减小了通过率和增加了时延、时延抖动和丢包率。

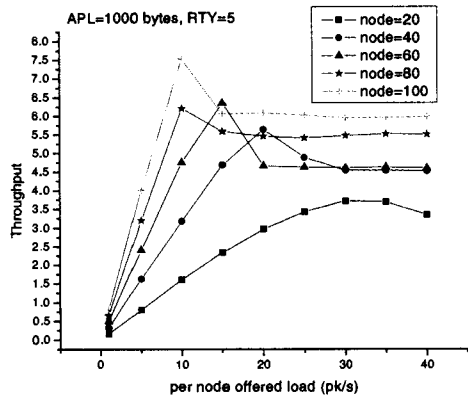


图 9 节点数对 ABF-TDMA 通过率的影响

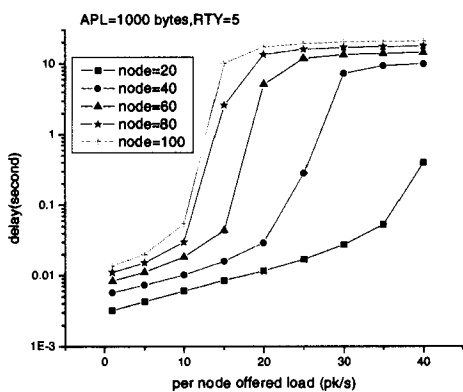


图 10 节点数对 ABF-TDMA 时延的影响

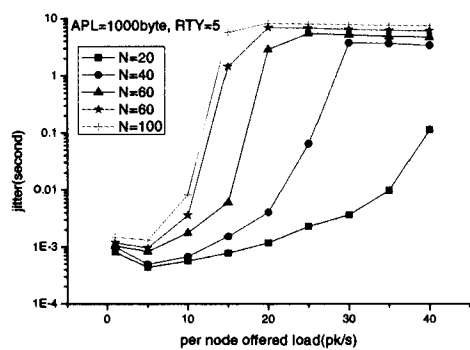


图 11 节点数对 ABF-TDMA 时延抖动的影响

会大于较大重传限制的。所以,为了平衡通过率、时延、时延抖动和丢包率之间的性能,我们需要选择中等的重传限制。

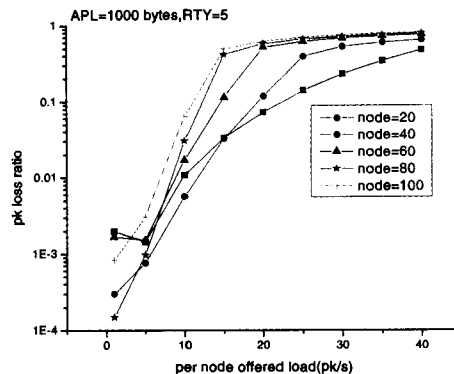


图 12 节点数对 ABF-TDMA 丢包率的影响

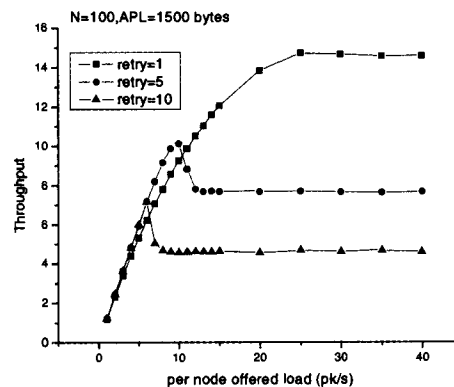


图 13 重传限定对 ABF-TDMA 通过率的影响

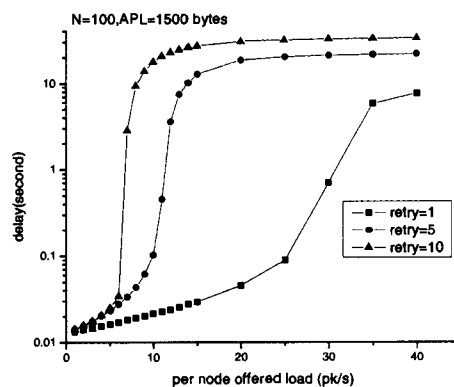


图 14 重传限定对 ABF-TDMA 时延的影响

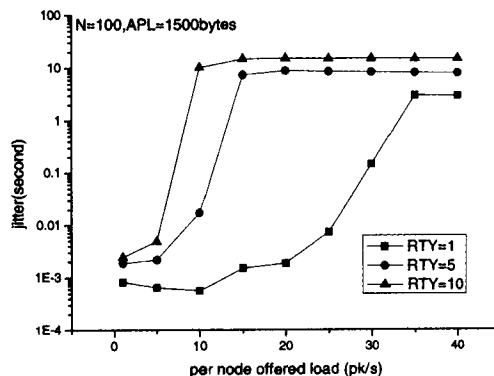


图 15 重传限定对 ABF-TDMA 时延抖动的影响

图 13 到图 16 展示了重传限制对通过率、时延、时延抖动和丢包率的影响,系统有 100 个节点和平均分组长 1500 字节。在较轻负载情况下,各种重传限制下的通过率几乎一样;但在较重的负载下,较小的重传限制通过率较高。这是因为当发生第二类碰撞时,较小的重传限制会马上丢掉该包,立即传输下一包,而不必一直重传而降低通过率。但是无论在任何负载下,在较小的传输限制下的时延、时延抖动和丢包率都

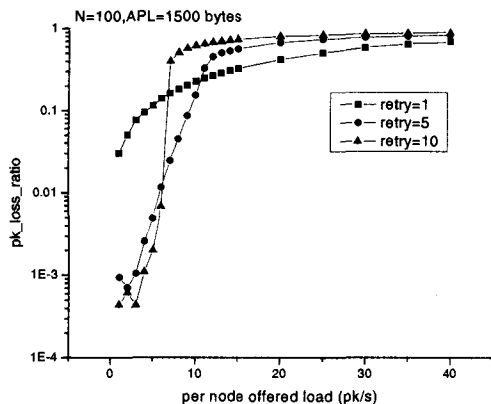


图 16 重传限定对 ABF-TDMA 丢包率的影响

从我们的仿真结果可以看到, ABF-TDMA 性能非常好, 尤其是分组长度较长、节点数目较多和重传限制在中等的环境下。

**结论** 我们描述和分析了一个新的适应 Ad Hoc 网络多址接入协议 ABF-TDMA, 它为每个节点分配一个时隙, 这样 RTS 和 CTS 可以无冲突地传输。一旦 RTS/CTS 成功交换, 自适应波束就以最小化干扰而形成。并且, 我们继续分析了 ABF-TDMA 的性能, 并通过仿真估计了其性能。可以看到, 仿真结果和理论结果非常接近。我们的仿真结果显示: 由于采用了简单的预约和自适应波束形成, ABF-TDMA 可以获得较大的通过率、较低的时延和较小的时延抖动和丢包率, 特别是分组长度较大和节点数较多的情况下。

### 参考文献

- 1 Oilonomou K, Stavrakakis I. Analysis of a Probabilistic Topology-Unaware TDMA MAC Policy for Ad Hoc Networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2004, 22(7): 1286~1300
- 2 WU Qi, GONG Zhong Lin. On the Performance of Genetic Algorithm Based Adaptive Beamforming. 2003 6<sup>th</sup> international Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory, 28 Oct-1 Nov 2003, 339~343
- 3 Bjorklund P, Varbrand P, Yuan D. Resource optimization of spatial TDMA in Ad Hoc radio networks: a column generation approach. In: *IEEE INFOCOM 2003*, 30 March-3 April 2003, 2: 818~824
- 4 Yang Jun, Li Jiandong, Sheng Min. Mac protocol for mobile Ad Hoc network with smart antennas. In: *IEE Electronics Letters*, 2003, 39(6): 555~557
- 5 Marina M K, Kondylis G D, Kozat U C. RBRP: a robust broadcast reservation protocol for mobile Ad Hoc networks. In: *IEEE ICC 2001*, 11-14 June 2001, 3: 878~885
- 6 IEEE Std 802.11. Wireless LAN Media Access Control (MAC) and Physical Layer (Phy) Specification. *IEEE Std*, 1999
- 7 Karn P. MACA-a new channel access method for packet radio. In: *Proc. ARRL/CRRL Amateur Radio 9th Computer Networking Conf*, 1990, 134~140
- 8 Bharghavan V, Demers S, Schenker S, et al. MACAW: a media access protocol for wireless LAN's. In: *Proc ACM SIGCOMM 1994*, Aug 31-Sept 2, 1994, London, UK, 1994, 212~215
- 9 Chlamtac I, Farago A, Zhang Hongbiao. Time-Spread multiple access (TSMa) protocols for multihop mobile radio networks. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1997, 5(6): 804~812
- 10 Garces R, Garcia J J, Aceves L. Floor acquisition multiple access with collision resolution. In: *Proceedings of the 2nd Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, Rye, New York, United States, 1996, 187~197
- 11 Bertsekas D, Gallager R. *Data Network*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1992
- 12 Kleinrock L, Scholl M O. Packet Switching in Radio Channels: New Conflict-Free Multiple Access Schedule. *IEEE Transactions on Communications*, 1980, 28(7): 1015~1029

(上接第 20 页)

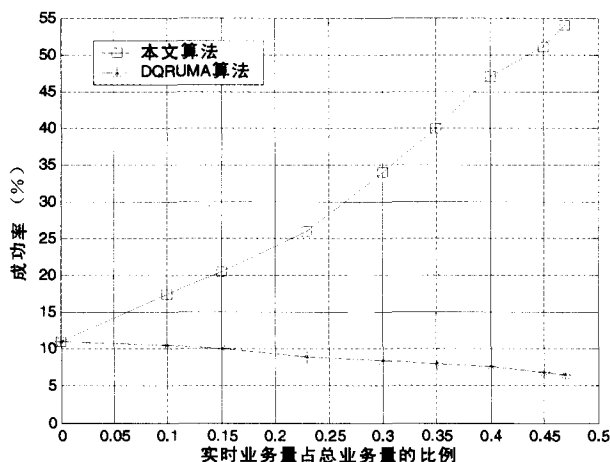


图 8 两种算法申请成功率比较

日益融合, 移动用户对业务多样性的需求不断增长、对服务质量的要求进一步提高, 新一代移动通信系统被要求支持更高发送速率、更大容量、服务更灵活、能够提供更多的多媒体业务。综合起来, 本文提出的无线带宽分配方案主要有以下优点: 对实时恒定速率业务、实时变速率业务分别采取不同的申请策略和分配策略, 提高了综合的带宽利用率; 采用动态微时隙, 由基站动态调整竞争时隙的个数, 提高了申请效率和带宽利用率; 将带宽申请的竞争冲突与实际数据传输隔离起来, 降低了冲突造成的损失。

### 参考文献

- 1 赵新胜, 尤肖虎. 未来移动通信系统中的无线资源管理[J]. 中兴

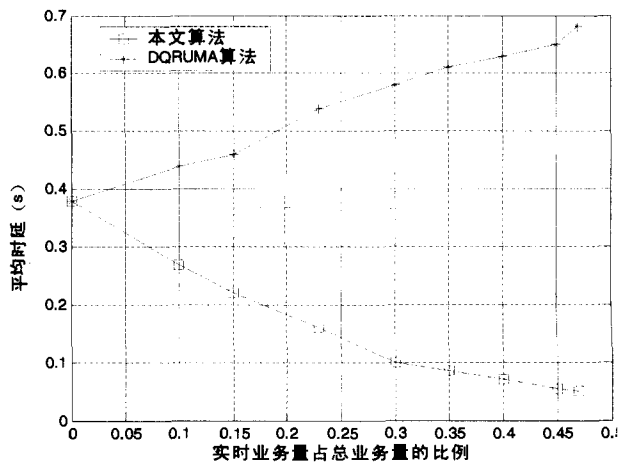


图 9 两种算法平均时延性能比较

- 1 通信技术, 2002(6): 7~10
- 2 Oliveria C, Kim J B, Suda T. An Adaptive Bandwidth Reservation Scheme for High-Speed Multimedia Wireless Networks [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1998(8): 858~873
- 3 Akyildiz I F, Mcnair J, HO J S M. Mobility Management in Next-Generation Wireless System [J]. *Proceedings of the IEEE*, 1999 (8): 1347~1384
- 4 Huang X, Tellambura C. Minislot reservation MAC protocol with co-operative channel (MRMA/COCH) for wireless packet networks [C]. In: *VTC'2000*, IEEE Press, 2000. 206~209
- 5 Karol M J, Liu Z, Eng K Y. Distributed-queueing request update multiple access (DQRUMA) for wireless packet (ATM) networks [C]. In: *ICC'95*, IEEE Press, 1995. 1224~1231