

# 一种基于负载均衡的动态多信道自组网 MAC 协议

彭 艺 周正中 查光明

(电子科技大学通信学院 成都 610054)

**摘 要** 自组网的信道是多跳共享的,使用传统的单信道接入协议会带来隐终端和暴露终端等问题,而目前提出的多信道协议没考虑到负载均衡问题会导致系统性能下降。在本文中提出一种基于负载均衡的动态多信道接入协议,该协议将可用频带分为一个控制信道和多个数据信道,源站与目的站在控制信道上交换控制分组信息来决定在最佳的数据信道上传输数据分组,信道选择是基于信道接收功率最大的原则。仿真结果表明,它比单信道协议有更好的性能。

**关键词** 自组网,多信道,负载均衡,信道接入协议

## A Dynamic Multi-channel MAC Protocol Based on Load Balancing for Ad Hoc Networks

PENG Yi ZHOU Zheng-Zhong CHA Guang-Ming

(Institute of Communication and Information Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054)

**Abstract** Ad hoc network is a kind of special multi-hop network. Those traditional access protocols based on single channel can't be use by Ad hoc network because it will bring the problems of hidden and exposed terminal, and the multi-channel access protocol can't suit for Ad hoc network because the problem of load balancing. This paper presents a novel dynamic multi-channel MAC protocol based on load balancing that uses one control channel and K data channels. The source station uses an exchange of control packets on the control channel to decide on the best channel to send the data packet on. Channel selection is based on maximizing the signal-to-interference plus noise ratio at the receiver. The preliminary simulation results shows that it has good performance than the signal channel protocol.

**Keywords** Ad hoc network, Multi-channel, Load balancing, Channel access protocol

## 1 引言

自组网(Ad hoc networks)是一种移动通信和计算机网络相结合的网络,整个网络没有固定的基础设施,可以在不能利用或不便利用现有网络基础设施的情况下提供一种通信支撑环境,拓宽了移动网络的应用场合,可以广泛应用于国防战备、灾难救助、偏远地区等无法得到有线网络支持或某些只是临时需要通信的环境,满足用户对移动数据通信的需求<sup>[1]</sup>。由于自组网的特殊组织形式,固定网络和中心无线网络(如蜂窝网)的很多协议无法直接被它采用,因而需要设计专门适用于自组网的协议。其中,MAC协议是自组网设计、研究的主要技术难点之一,网络的性能如吞吐量、容量、时延及功耗等性能都依赖于所采用的MAC协议,其设计目标有两个方面:公平性和高信道利用率,即在尽量保证节点公平占用信道的情况下充分利用有限的频率资源。

由于自组网的特殊性,基于固定的或有中心的网络MAC协议不能满足自组网的需要。蜂窝移动通信系统中使用的有中心的信道接入技术是让终端在基站的控制下接入信道,而自组网中没有类似基站的控制实体。传统的基于共享广播信道的接入技术(ALOHA、CSMA系列)只能在一跳共享的信道(一个站点发送,所有站点都可以听到)上使用,而Ad hoc网络的信道是多跳共享的(一个站点发送,并非所有站点都可以听到),因而需要专门设计适用于自组网的信道接入协议。

## 2 自组网 MAC 协议研究现状

根据自组网中MAC协议使用的信道数目,又可把已有的自组网MAC协议分为基于单信道和基于多信道(含双信道)的MAC协议。目前在自组网中研究得最多的MAC协议是单信道MAC协议,其设计难点主要集中在解决隐藏终端和暴露终端问题,大多数的协议都采用RTS/CTS分组的预约机制来解决该问题,该机制也被广泛接受的基于单信道模型的IEEE802.11标准所采纳。采用单信道的一个共同问题就是移动节点数的增加将加剧节点间的竞争和分组发送的冲突,使得网络性能随之急剧下降,信道利用率降低<sup>[2]</sup>。

解决竞争和冲突问题的有效方法之一是采用多信道。由于网络中有多个信道,相邻节点可以使用不同的信道同时进行通信,接入控制更加灵活。采用多信道可以获得优于单信道的网络时延特性<sup>[2]</sup>,还可以使网络具有更好的抗衰落和噪声容限。由于单信道MAC协议的最大吞吐量受限于信道带宽,因此如果每个节点使用多信道,其吞吐量将立即获得上升。另外,单信道难以对QoS进行支持,而采用多信道则更容易实现QoS支持。

随着技术的发展,无需付出太大的代价就可以实现具有两个甚至多个信道的无线设备。典型的如软件无线电台具有多个信道,各信道独立并行工作,同时又相互间合作<sup>[3]</sup>。各个节点在不同的频段和模式上具有不同的通信距离,因而组网

**彭 艺** 博士研究生,研究方向是通信系统及其信号处理。**周正中** 博士生导师,教授,从事信号处理和软件无线电学科的研究。**查光明** 教授,从事软件无线电,扩频通信的研究。

过程中这些频段和模式上的网络连通图各不相同,整个网络呈现多层动态网络拓扑结构,层与层之间有密切联系,如图1所示。

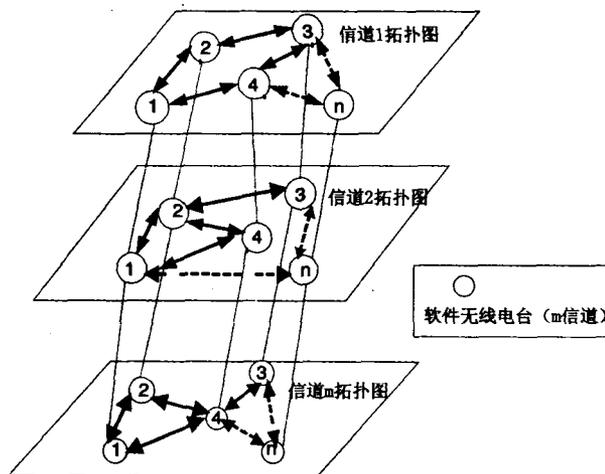


图1 软件无线电台网络的多信道多层分布图

目前已有不少关于多信道的MAC协议提出,但基本上没考虑到负载均衡问题。分析可知,当网络中不同信道上的负荷不一致时会导致系统总流量的降低而使系统性能下降。因此本文主要针对自组网中的多信道进行MAC协议的设计,提出一种基于负载均衡的动态多信道接入协议,该协议将可用频带分为一个控制信道和多个数据信道,源站与目的站在控制信道上交换控制分组信息来决定在最佳的数据信道上传输数据分组,信道选择是基于信道接收功率最大的原则。

### 3 协议描述

#### 3.1 协议设计思想

该协议是对IEEE802.11CSMA/CA中的RTS-CTS-data-ACK<sup>[4]</sup>进行扩展应用到了多信道环境中来,并加入了信道的动态预约选择和负载均衡的设计。其基本思想是在网络的多个可用信道中选择一个信道作为全网的公共控制信道用以传递公共控制信息,其余的信道作为数据信道。协议的设计是基于有多个信道的假设,归纳如下:

- 总的可用带宽  $W$  分为  $K+1$  非重叠的子频带,一个控制信道,其余  $K$  个为数据信道;
- 控制信道带宽  $W_c$  是可变的,每个数据信道的带宽为  $(W-W_c)/K$ ;
- 每个站能同时监听到所有信道上的数据传输;
- 每个站都是半双工的,能接收和传输数据但不能同时进行;
- 每个站能在所有的信道上传输和接收,然而,在一个给定的时间内,任何信道上只能有一个分组在传输,但是可同时在不同的信道上接收多个分组。

该协议将总的频带分为一个广播公共控制信道 BCH (Broadcast Channel) 和  $K(K < N, N$  是网络中的站点数) 个单播数据信道 DCH (Data Channel)。源站通过控制信道交换控制分组来决定使用哪条数据信道传输数据分组,而数据信道的选择是动态的并由目的站与源站一起来进行的,其选择原则是选择最佳信道(接收功率最大或接收机信噪比为最大的信道)来传数据。BCH 被所有的站共享,因此 BCH 上的传输可以被传输范围内所有的站听到。信道的接入是基于竞争方

式的。所有的 DCH 信道是忙还是闲就看该信道是否处于使用状态。当站 A 请求通过一个信道与另一个站 B 进行通信时,一个空闲的 DCH 将在有限的时间里  $T_d$  被安排给(A, B),当时间到或(A, B)不再需要信道时,该 DCH 又重新变成空闲状态。数据在 DCH 上的传输是通过 BCH 和所有站以一种分布式方法协调共同来完成的,如图2所示。

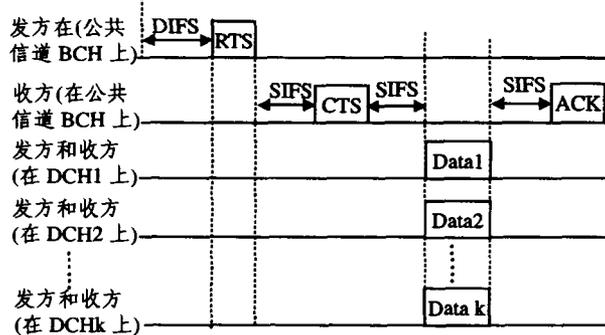


图2 信道选择原理图

#### 3.2 协议的操作方法及步骤

我们对协议的描述主要侧重在其多信道方面和信道选择上,其余的如信道监听,随机后退程序等和 IEEE802.11<sup>[4]</sup> 是类似的。

(1) 当一个站有分组要送出时,先在广播公共控制信道(BCH)上向目的站送出一个 RTS。

a) 在传输 RTS 之前,发送方先对所有的数据信道进行载波监听,建立传输可用的空闲数据信道列表。接收信号强度(total received signal strength, TRSS)低于监听门限(sensing threshold, ST)的信道为闲,否则为忙。该列表是附带在发送方的 RTS 分组中的,每个站都有自己的空闲信道列表。

b) 如果空闲信道列表为空,站要等待进入后退,后退时间到后重传 RTS 分组。

c) 如果空闲信道列表不为空,站将该列表信息附带在 RTS 分组中送出。

(2) 在成功收到 RTS 分组后,目的站首先监测所有的数据信道(DCH)来产生自己的空闲信道列表,然后与收到的 RTS 分组中携带的源站空闲信道列表进行比较。

a) 如果两张空闲列表有相同的空闲数据信道,目的站检测所有空闲信道列表中所有信道的 TRSS 值,选择 TRSS 最小的信道作为传输数据信道,并将该信道信息放在 CTS 分组中与 CTS 分组在控制信道上一同送出。

b) 如果两张空闲列表没有相同的空闲数据信道,则目的站拒绝送出 CTS 分组,源站等待时间到后,后退然后重传。

(3) 当源站收到 CTS 分组后便在 CTS 中指定的 DCH 信道上传输数据分组,该信道对于源站和目的站来说都必须是空闲的而且对于接收端来说是最好的。

(4) 目的站传输范围内的其它站点都会在 BCH 信道上收到 CTS 分组,在收到 CTS 后每个站都会在整个传输期间(包括 ACK)禁止在 CTS 中指定的数据信道上进行传输。在这期间内,不管该信道的接收功率大小都被认为是忙的。

(5) 如果目的站在数据信道上成功地收到了数据,便在该 DCH 信道上返回一个 ACK 分组,如果源站没收到 ACK,则目的站时间到后后退重传。

在有些情况中,(A, B)的连接可能会长时间占用 DCH 而

(下转第 79 页)

June 2001

21 Daley K, Larson R, Dawkins J. A structural framework for modeling multi-stage network attacks. In: Proc. of the intl. Conf. on Parallel Processing Workshops, 2002

22 Templeton S J, Levit K. A requires/provides model for computer attacks. In: Proc of New Security Paradigms Workshop, Sept. 2000. 31~38

23 Cuppens F. Managing alerts in a multi-intrusion detection environment. In: 17<sup>th</sup> Annual computer security applications conf. (AC-SAC), New-Orleans, Dec. 2001

24 Cuppens F. Alert correlatin in a cooperative intrusion detection framework. In :Proc . of IEEE Symposium on Security and Privacy, 2002. 187~200

25 Debar H, Wespi A. Aggregation and correlation of intrusion-detection alerts. In Recent Advances in Intrusion Detection, number 2212 in Lecture Notes in Computer Science, 2001. 85~103

26 Ning P, Reeves D, Cui Y. Correlating alerts using prerequisites of intrusions; [ Technical Report TR-2001-13]. North Carolina State University, Department of Computer Science, Dece. 2001

27 Ning P, Cui Y, Reeves D S. Constructing attack scenarios through correlation of intrusion alerts. In: Proc. of the 9th ACM Conf. on Computer and Communications Security (to appear), Washington, D. C. , Nov. 2002

28 Ning P, Cui Y. An intrusion alert correlator based on prerequisites of intrusions. Submitted for publication; [ Technical Report TR-2002-01]. Department of Computer Science, North Carolina State University, Jan. 2002

29 Staniford-Chen S, Crawford C R, Dilger M, et al. GrIDS - a graph based intrusion detection system for large networks. In: Proc. of the 20th National Information Systems Security Conf. 1996, 1: 361~370

30 Chen Shuo, An Chang-Qing, Li Xue-Nong. A Distributed Intrusion Detection System and Its Apperception ability. China Journal of Software, 2001, 12(2): 225~232

31 Doyle J, Kohane I, Long W, Shrobe H, Szolovits P. Event recognition beyond signature and anomaly. In: Proc. of the 2001 IEEE. Workshop on Information Assurance and Security, United States Military Academy, West Point, NY, June 2001

(上接第 45 页)

其它站没有机会接入进行通信。为了避免这种不足而提出了一个概念——最大占用周期。每次连接只允许传输最多  $M$  个数据分组, 如果已经交换了  $M$  个数据分组, 则不管还有多少个分组要送都必须终止连接。除了能避免这种不足之外, 这种策略还能提供 DCH 信道预留周期的计算, 而信道预留周期在决定忙 DCH 变成空闲的时间是很关键的。  $M$  的取值由具体的网络性能决定。

#### 4 初步仿真

我们先对 IEEE 802. 11b 单信道协议进行仿真研究, 仿真参数如表 1 所示, 所有站都产生数据流, 为仿出不同网络负载, 平均间隔时间是变化的而分组长度保持不变, 吞吐量也可通过信道容量刻画出来。

表 1 802. 11b 仿真参数

参数	值
分组长度(字节)	常量(500)
分组间隔到达时间	指数的
目的站地址	随机
RTS/CTS	永远
信道容量	1Mbps
物理层特性	PHSS

其仿真结果如图 3 所示, 当网络大小从 2 站增加到 20 站时, 可看出网络的吞吐量逐渐降低直到网络满负荷。

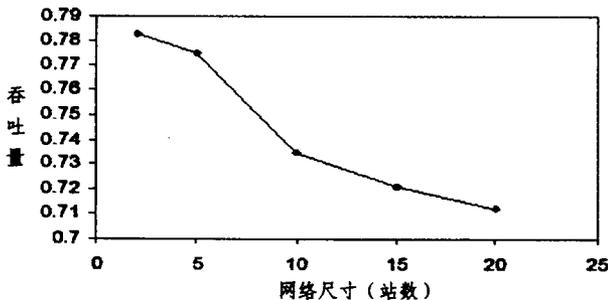


图 3 802. 11b 的性能仿真结果图

接下来是对本文提出的协议进行仿真, 其仿真参数如表 2 所示。其仿真结果如图 4 所示。

**结论** 与单信道 MAC 协议相比较而言, 使用多信道的负载均衡 MAC 协议能提供同时多个信道的交叉连接从而提

高了信道的利用率, 并能通过负载均衡来更好地利用资源。在本文提出来基于信道均衡的动态多信道 MAC 协议中, 在网络中使用了多信道技术, 且信道的预约使用是动态的, 在需要传数据时动态地选择空闲信道来传数据, 选择信道是基于信道接收功率最大原则从而解决了信道均衡问题, 初步仿真结果表明在网络负荷增加时比单信道 MAC 协议有更高的吞吐量, 性能更好。

表 2 协议仿真参数

参数	值
网络大小	20 个站
分组长度(字节)	常量(500)
分组间隔到达时间	指数的
目的站地址	随机
最大允许连接大小	5 个分组
每个子信道容量	1Mbps
每个站的数据端口数	1
物理层特性	PHSS

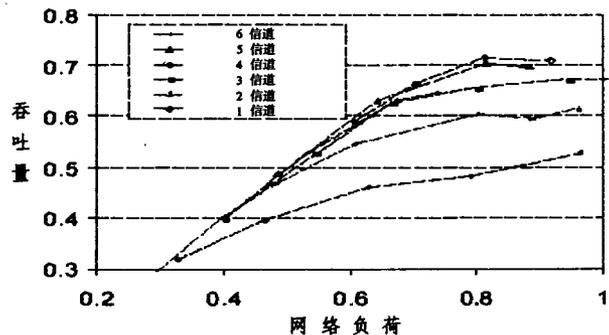


图 4 协议性能仿真图

#### 参考文献

1 IETF. Mobile ad hoc networks charter. <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>

2 Li Jiandong, Haas Z J, Sheng Min. Capacity evaluation of multi-channel multi-hop ad hoc networks. In: 2002 IEEE Intl. Conf. on Personal Wireless Communications, Dec. 2002. 211~214

3 何一, 李伟光, 陈迎春. 软件无线电在自组网动态物理层中的应用. 现代电子技术, 2002(8): 36~39

4 IEEE Standard 802. 11. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications[S]. 1999