

文章编号:1671-6833(2011)02-0093-04

## 基于数据优先级的 Ad hoc 网络 MAC 协议研究

王延年, 郑晓庆

(郑州大学 信息工程学院, 河南 郑州 450001)

**摘 要:** 基于数据优先级提出了一种改进的无线 MAC 协议. 数据在源节点按照一定策略被划分为不同的优先级, 并且优先级信息被封装在数据帧中随数据在网络节点间移动; 发送时, 节点根据数据帧中的优先级调整 IEEE 802.11 DCF 中的竞争窗口, 使不同优先级的数据帧使用不同的竞争窗口, 以分散信道上的竞争压力, 保证高优先级数据的优先发送. 仿真结果表明, 改进后协议不但明显减少了高优先级数据的传输时延, 而且信道上的碰撞次数降低了近 50%, 改善了网络的性能.

**关键词:** IEEE 802.11; 数据优先级; 竞争窗口; 网络节点; Ad hoc

**中图分类号:** TP393

**文献标志码:** A

### 0 引言

无线 Ad hoc 网络中的 MAC 协议负责管理和协调用户共享的信道资源, 直接影响网络的性能, 是目前无线 Ad hoc 网络的研究热点.

O. Bouattay 等<sup>[1]</sup>提出根据相邻节点的数量界定节点接入信道的优先级, 使具有较多邻居的节点优先占用信道, 尽快跳出节点密集区域, 减少中转, 以降低能耗, 延长网络的生命周期. S. Zhalehpour 等<sup>[2]</sup>针对移动 Ad hoc 网络提出了两种自适应退避算法: TBA 算法根据信道竞争情况调整竞争窗口大小, 适用于负载较重的网络; SBA 算法则根据长度确定数据包的优先级, 使较小的数据包以较大的概率接入信道.

严少虎等<sup>[3]</sup>针对 IEEE 802.11 DCF 提出了一种“带优先级的退避算法”, 根据网络中各个节点已经发送数据量的信息以及本节点欲发送数据的优先级计算竞争窗口, 其缺点是不能很好地支持实时业务, 尤其在网络负载较重的时候. 杨玺等<sup>[4]</sup>针对可持续获得能量的情形, 提出将传输的数据划分为不同的优先级, 结合节点的能量水平和欲发送数据的优先级采用不同的路由策略.

实际应用中, 用户除要求 Ad hoc 网络提供可靠的数据传递外, 还会要求为突发事件的处理提

供有效支持, 使反映事件属性的重要数据较一般数据具有更高的优先权快速到达目的节点. 已有研究对优先级的处理只限定在节点层次, 或者根据节点发送的数据量定义优先级, 即使涉及到优先级数据的传递, 也只限定在数据的源节点或某个节点, 不能解决高优先级数据在网络中各个节点上的快速传送问题. 为此, 笔者提出改进 MAC 协议, 使数据优先级具有可携带性, 同时根据数据优先级调整竞争窗口, 从而实现高优先级数据在网络中不论是源节点还是转发节点的快速传递.

### 1 IEEE 802.11 MAC 协议的改进

根据 Ad hoc 网络使用的信道数目, MAC 协议可分为: 基于单信道的信道接入协议、基于双信道的信道接入协议和基于多信道的信道接入协议. IEEE 802.11 MAC 协议是典型的基于单信道的 MAC 协议, 其中 DCF 方式是 IEEE 802.11 协议的基本访问控制方式. 在 DCF 工作方式下, 载波侦听机制通过物理载波侦听和虚拟载波侦听来确定无线信道的状态. 另外使用 RST/CTS 机制进行信道预约, 接收方在正确收到数据帧 DATA 时发送确认帧 ACK 给发送方. 笔者在 IEEE 802.11 DCF 的基础上, 根据数据优先级, 调整竞争窗口, 使不同优先级的数据使用不同的竞争窗口, 以降低信道碰撞概率, 缩短传输延迟, 改善网络性能.

收稿日期: 2010-10-10; 修订日期: 2010-11-16

基金项目: 河南省基础与前沿技术研究基金项目(72300410430)

作者简介: 王延年(1965-), 男, 河南焦作人, 郑州大学副教授, 博士, 主要从事计算机应用和检测技术研究, E-mail: ieynwang@zzu.edu.cn.

### 1.1 优先级的可携带性

为了判断数据的优先级以及考虑到数据要经过一次或多次转发,需要在数据帧中携带优先级的信息,以支持中间转发节点对数据优先级的识别.为了保证兼容性,对 802.11 标准 MAC 数据帧格式<sup>[5]</sup>进行了扩展,在 Frame Control 字段与 Duration/ID 字段之间插入 3 字节的 DP 标记(Data Priority tag),用于标识数据的优先级,如图 1 所示. DP 标记的前两个字节设为 0xC000(0xC000 在 Duration/ID 字段中为保留字段).节点收到 MAC 数据帧时,如果检测到 Frame Control 字段后面 Duration/ID 字段的值是 0xC000 时,表明该帧是携带数据优先级的数据帧;否则是 IEEE 802.11 标准的 MAC 数据帧.

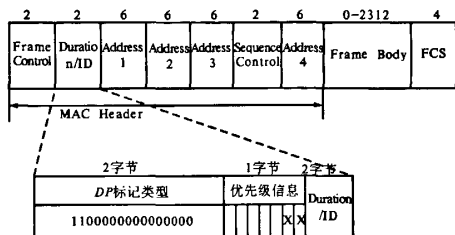


图 1 在 802.11 数据帧格式中插入 DP 字段

Fig.1 The DP field in 802.11 data frame

在扩展的数据帧格式中,数据的优先级用两个比特表示,可以有 4 个取值,分别为 DP = 00, 01, 10, 11. 其中优先级最高时 DP 取值为 00,表示帧中携带的是重要数据或指令,需要优先发送;DP = 10 时表示帧中携带的是常规数据;DP = X1 (DP = 01 或 11)时表示帧中携带数据的优先级最低,不需要可靠传送,必要时可以丢弃.

因此,使用扩展的数据帧格式,不论是在源节点,转发节点还是目标节点,都可以通过帧中携带的优先级信息判断数据的优先级.当节点收到一个数据帧后,首先读取优先级信息,然后存入接收缓冲区并按优先级排队,优先级高的数据帧排在队列的最前面优先处理;当节点发送数据帧时,首先把数据帧存入发送缓冲区并按优先级排队,优先级高的排在队列的前面,优先发送.

### 1.2 优先级数据的发送

节点发送高优先级数据帧时,需要降低与其它节点在信道上碰撞的概率,尽快接入信道.为此需要对 MAC 协议进行改进,方法是节点在发送数据帧时,根据其优先级调整发送竞争窗口和相应的退避时间.

在 IEEE 802.11 DCF 工作模式下,节点传输数据帧时,需要确定退避时间.退避时间的长短依赖于竞争窗口 CW (Contention Window) 的大小.

IEEE 802.11 DCF 使用的是二进制指数退避算法 BEB (Binary Exponential Backoff), CW 的大小与发送的数据帧所经历的碰撞次数有关.节点发送数据时,若信道空闲,则随机取一个退避时间进行退避;退避结束时若信道仍然空闲则发送数据.在数据第一次被传输时, CW 被置为规定的  $CW_{min}$ ,即竞争窗口的最小值;每当发生碰撞,节点重新进行退避,竞争窗口扩大一倍,直至竞争窗口的最大值  $CW_{max}$ ;当发送成功时,竞争窗口重新设置为原来的初值.退避时间  $t_{BF}$  按公式(1)计算.

$$t_{BF} = \text{Random}() * aSlotTime \quad (1)$$

式中:  $\text{Random}()$  是  $[0, CW]$  内均匀分布的伪随机函数;  $aSlotTime$  为时隙时间.

为了支持优先级数据帧的发送,笔者对 IEEE 802.11 DCF 工作模式下的竞争退避机制进行了改进.节点根据优先级调整竞争窗口,使不同优先级的数据帧选择不同的竞争窗口进行退避.方法是不同优先级的数据帧定义不同的竞争窗口,分别为  $CW_{00}$ ,  $CW_{10}$ ,  $CW_{X1}$ , 对应 DP = 00, 10, X1, 如图 2 所示.不同竞争窗口的初值遵循以下规律:

$$CW_{00min} < CW_{10min} < CW_{X1min}$$

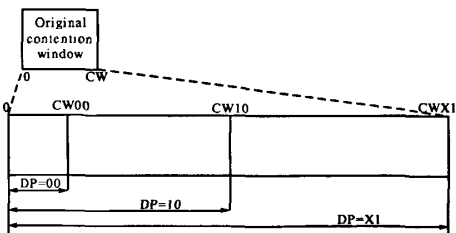


图 2 不同优先级数据的竞争窗口值

Fig.2 The CW value of data for different priority

改进后,网络中每个节点在竞争信道时,依照当前发送数据帧的优先级,选择相应的竞争窗口进行退避.例如当节点发送数据的优先级 DP = 00 时,竞争窗口为  $CW_{00}$ ,其初值为  $CW_{00min}$ ,碰撞时加倍,直至  $CW_{max}$ ,节点在  $[0, CW_{00}]$  内随机选择退避时间,相对其它优先级的数据获得较小的退避时间进而接入信道的概率大;而优先级 DP = X1 时,竞争窗口为  $CW_{X1}$ ,其初值为  $CW_{X1min}$ ,碰撞时加倍直至  $CW_{max}$ ,节点在  $[0, CW_{X1}]$  内随机选择退避时间,相对其它优先级的数据帧可能得到较大的退避时间,较迟接入信道.

因此依据优先级对竞争窗口进行适当调整,

使发送高优先级数据帧的节点退避时间短,进而优先获得信道使用权的概率大,并且不同优先级数据帧的退避时间不同可以分散竞争压力,降低信道碰撞概率,改善网络性能。

2 MAC 协议与路由协议

改进后的 MAC 协议可以使重要数据的发送节点优先占用信道,减少其在相邻节点之间的传输时延。为实现 Ad hoc 网络把数据快速传送到目的节点,还需要相应路由协议的支持。

Ad hoc 路由协议分为先验式路由协议、反应式路由协议和混合式路由协议。其中反应式路由协议也称按需路由协议,只有向目的节点发送报文时,源节点才在网络中发起路由查找过程。路由选择具有开销较小,最短跳数等优点,适用于拓扑结构易发生变化的网络。

AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector Routing protocol)<sup>[6]</sup>是一种典型的反应式路由协议。源节点发送数据前先在网络中洪泛路由请求报文,目的节点或知道目的节点路由的中间节点收到后立刻沿原来路径返回路由响应报文,源节点收到后就获得到达目的节点的路由。发生路由断连的中间节点在本地发送路由请求报文以恢复路由。AODV 使用洪泛广播路由请求报文容易造成严重的网络负担,但是由于改进后的 MAC 协议以能够实现高优先级数据的快速发送,AODV 选择的具有最短跳数,从而可以在 Ad hoc 网络中使反映事件属性的重要数据快速传送到目的节点,为突发事件的处理提供有效支持。

3 仿真结果分析

笔者采用 Berkeley 大学研发的 NS2 进行了仿真实验,分析改进前后 MAC 协议在不同网络流量下,不同优先级数据的平均发送时延  $t$  以及信道上的碰撞次数。

为了考察改进 MAC 协议的性能,仿真实验中设置了 3 种不同优先级的数据流,其源和目的节点均不相同;源节点到目的节点之间采用反应式路由协议 AODV;同时使用数据发送率控制网络流量,使上述 3 种数据流在不同网络流量下竞争信道。相关参数如表 1 所示。

MAC 协议改进前后信道碰撞次数的对比结果如图 3 所示,表明相对于 IEEE 802.11 DCF,改进后 MAC 协议的碰撞次数降低了近 50%,尤其当网络流量较大时碰撞次数明显减少。

表 1 网络仿真参数

Tab.1 The Parameter of Simulation

参数	值	参数	值
Routing protocol	aodv	packetSize_	512B
simulation time	50s	packet	CBR
CW <sub>min_</sub>	15	Agent	UDP
CW <sub>max_</sub>	1023	Max packet in queue	50
CW <sub>00min</sub>	CW <sub>min_</sub>	slotTime	16us
CW <sub>10min</sub>	2 * CW <sub>min_</sub>	DIFS	16us
CW <sub>11min</sub>	4 * CW <sub>min_</sub>		

在平均端到端传输时延  $t$  方面,改进前 MAC 协议的仿真结果如图 4 所示,3 种不同数据流的平均端到端传输时延没有明显的规律;MAC 协议改进后的仿真结果如图 5 所示,当网络流量增大时各传输时延均有不同程度的增加,但不同数据流的平均端到端传输时延差异明显;DP=00 的数据平均传输时延显著低于其它两种数据,尤其是在网络负载较重时,时延增加幅度最小,因此改进后的 MAC 协议可以保证高优先级数据在较短的时间内发送;另一方面,优先级最低 (DP=01) 数据的平均传输时延远高于其它数据,在网络负载较重时,延迟增长幅度最大。

从仿真结果可知,改进的 MAC 协议不仅使高优先级数据以最小的时延发送出去,而且降低信道碰撞概率,提高吞吐量,改善网络性能。

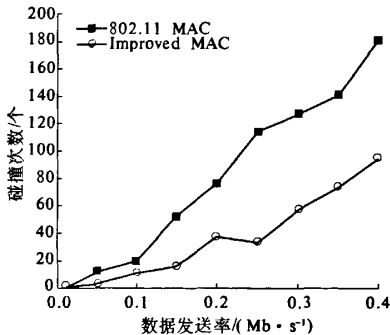


图 3 改进前后协议的碰撞次数

Fig.3 The collisions comparison of two protocols

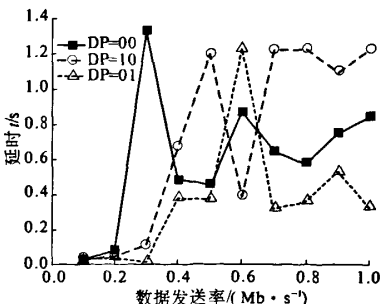


图 4 无优先级下不同数据的点到点延迟对比

Fig.4 The delay comparison without data priority

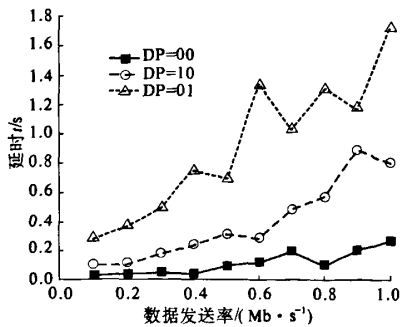


图5 有优先级下不同数据的点到点延迟对比

Fig.5 The delay comparison with data priority

#### 4 结论

笔者基于数据优先级提出了一种改进的无线 Ad hoc 网络 MAC 协议。在保证兼容性的前提下,对 802.11 MAC 数据帧格式进行了扩展,增加 DP 字段标识数据的优先级,使优先级信息具有可携带性;同时为了支持优先级数据帧的发送,对 IEEE 802.11 DCF 工作模式下的竞争退避机制进行了改进,节点根据优先级调整竞争窗口,从而减少了高优先级数据的退避时间。

笔者采用 NS2 进行了仿真实验,结果表明改进的 MAC 协议不但实现了高优先数据的优先发送,满足 Ad hoc 网络中突发事件的应用需求,而且降低了信道中的碰撞概率,减少冲突带来的能耗,改善了网络性能。

#### 参考文献:

- [1] BOUATTAY O, CHAHED T, FRIKHA M, et al. Improving energy consumption in Ad Hoc networks

through prioritization [C]//CTC - 2007 Fall. Baltimore: IEEE Press, 2007: 148 - 153.

- [2] ZHALEHPOUR S, SHAHMOSEINI H S, ZHALEHPOUR S. Performance evaluation of adaptive backoff algorithms in Ad Hoc networks [C]//ICCTD. Kota Kinabalu: IEEE Press, 2009: 540 - 544.
- [3] 严少虎, 卓永宁, 吴诗其, 等. IEEE 802.11 DCF 中带优先级的退避算法[J]. 电子与信息学报, 2005, 27(8): 1315 - 1319.
- [4] 杨玺, 刘少强, 樊晓平, 等. 实时监测的混合式无线传感器网络多路径路由研究[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(4): 8320 - 9321.
- [5] IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee. IEEE Std 802.11-1999 Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications[S]. USA: IEEE Press, 1999.
- [6] 3561 Nokia Research Center, RFC3561 Ad hoc On - Demand Distance Vector (AODV) Routing [S]. USA: Internet Society Press, 2003.
- [7] TAKAHASHI K, TERASAWA T, TSUBOI T. A MAC protocol using energy signals for QoS in Ad Hoc wireless networks [C]//VTC 2007 - Spring. Dublin: IEEE Press, 2007: 243 - 247.
- [8] CHEN Xiao, JIA Xing-de. Energy Balancing Routing Algorithm in Wireless Sensor Networks Connected as Grids[C]. Chicago: IEEE Press, 2007: 19 - 28.
- [9] 秦耀文, 胡志刚. Ad Hoc 中 MAC 层一种基于动态预测的退避算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(22): 150 - 153.
- [10] 李向丽, 吕何平, 魏凯敏. 一个基于相关节点的 Ad hoc QoS 路由协议[J]. 郑州大学学报: 工学版, 2010, 31(2): 102 - 105.

### A Data-Priority MAC Protocol for Ad Hoc Network

WANG Yan-nian, ZHENG Xiao-qing

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** An improved wireless MAC protocol is proposed based on data priority. The priority of data is identified according to a correlative strategy at source node. Both data and its priority are encapsulated into a frame and transmitted in network. When forwarding a data frame in IEEE 802.11 DCF mode, the node adjusts the contention window according to the data priority to make sure that the data with different priorities uses different contention windows, so that the collisions in the wireless channel can be reduced and the data with high-priority can be transmitted quickly. The simulation results showed that the improved protocol not only shortened the transmitting delay of data with high-priority, but also reduced the collisions by almost 50%.

**Key words:** IEEE 802.11; data priority; contention window; node; Ad hoc