

基于 802.11 协议的节能技术

王志林¹, 任宏¹, 王小伟², 李成²

(1. 中国人民解放军 91245 部队, 辽宁 葫芦岛 125000;

2. 中国人民解放军 92493 部队, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘要: 无线终端的连续工作时间受电池容量的制约, 产业界一直在寻求通过采用节能机制来延长终端工作时间的办法。介绍并分析了 802.11 基本节能协议 PSM, 探讨了针对其不足而提出的几种典型改进协议, 阐述了节能技术所面临的困难, 指出了节能研究的发展方向。

关键词: 802.11 协议; 节能技术; 能量消耗; PSM 协议

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)12-0057-05

Power-saving techniques based on 802.11 protocol

WANG Zhi Lin¹, REN Hong¹, WANG Xiao Wei², LI Cheng²

(1. The PLA 91245 Unit, Huludao 125000, China;

2. The PLA 92493 Unit, Huludao 125000, China)

Abstract: Because of the continuous working time of wireless terminals without recharge being restricted by the capacity of batteries, the industry has been trying to use power-saving mechanisms to increase their longevity. This paper introduces the basic power-saving protocol PSM defined in 802.11 and discusses several typical modified protocols based on it. At last, points out some difficulties in using power-saving techniques and also introduces some research directions in this area.

Key words: 802.11 protocol; power-saving technology; energy-consumption; PSM protocol

802.11 是 IEEE 802.11 标准委员会制订的无线局域网信道接入协议, 也可用于无线自组织网(Ad Hoc 网络)。无线结点使用的易耗尽能源(主要是电池)只能提供有限的能量供应; 而目前由于受电池制造技术的限制, 在保持电池重量一定的条件下, 电池容量很难有突破性的提高。另一方面, 移动终端性能不断提高, 功能也越来越强大, 对电源供应的需求也更加强烈。因此研究新的技术以减少能耗并延长电源使用时间非常有必要。

无线网络接口在结点总功耗中占有相当大的比例。通常情况下, 无线网络接口加电工作时按功率消耗由小到大的顺序有 4 种模式: 睡眠模式(sleep)、空闲模式(idle)、接收模式(receive)以及发送模式(transmit)。当无线网络接口工作于睡眠模式时称结点处于睡眠状态, 而当无线网络接口工作在其他三种模式时称结点处于活跃状态。

试验表明: 网络接口处于睡眠状态时能耗特别低, 处于空闲模式时的功率消耗与处于接收、发送模式时的功率消耗相差无几^[1]。这说明在发送代价很大的网络中

为了节能而常用的功率控制机制并不能显著降低网络能耗; 尽可能将结点网络接口置于睡眠状态是降低结点功耗的关键, 各种节能协议的设计也主要是围绕这个思想进行的。这种类型的节能协议主要由数据链路层的 MAC 子层实现。

1 802.11 协议的基本节能机制

802.11 协议^[2]在 MAC 子层标准中定义了两种模式: 分布协调功能 DCF 和点协调功能 PCF。由于 DCF 的使用比较普遍, 因此本文主要基于 DCF 来探讨 802.11 协议的节能技术。

在节能模式下, 当结点没有数据传输时可以进入睡眠状态, 但这种操作不能影响正常的通信。因此必须要解决好两个问题: 节能模式下结点如何从其他结点接收数据; 结点如何向处于节能模式的结点发送数据。

802.11 标准中为 802.11DCF 定义了节能模式 PSM^[3](Power Save Mode)。PSM 工作于全互连网络中, 工作过程如图 1 所示。各结点将时间轴分为连续的 beacon 周期, 当每一 beacon 周期开始时, 工作于节能模式的结点

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 57

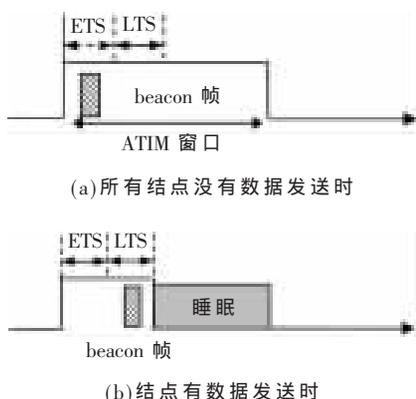


图2 TIPS协议的ATIM窗口示意图

流量小时尤其明显。

2.2 DPSM 协议

DPSM 协议^[5](Dynamic Power-Saving Mechanism)可以动态调整 ATIM 窗口大小,并且结点结束数据传输后即可在 TW 窗口内进入睡眠状态。

DPSM 协议中每个结点根据自己观察到的网络状况而各自使用不同大小的 ATIM 窗口。结点在 ATIM 窗口中交互 ATIM 帧的同时通知对方自己有多少报文要发,在 TW 窗口内,当发送结点发送完数据后,收发双方都可以进入睡眠状态。如果在当前的 beacon 周期内没有将通过 ATIM 帧广播的数据发完,则在下一 beacon 周期的 TW 窗口中收发双方都处于活跃状态继续发送未发完的数据,而不必再通过 ATIM 帧广播。结点会在所有发送报文中带上自己的 ATIM 窗口大小信息,其他结点如果收到此报文就可以知道对方的 ATIM 窗口大小。某结点发送 ATIM 帧时,根据目的结点的 ATIM 窗口大小,首先向 ATIM 窗口最小的结点发送 ATIM 帧,如果不知道对方的 ATIM 窗口大小,就按最小的 ATIM 窗口来对待。如果某结点在当前的 ATIM 窗口内来不及向所有目的结点发送 ATIM 帧,则可以增大 ATIM 窗口。ATIM 窗口的增加和减少都是按一定的粒度来进行的。某结点如果从其他结点发送的报文中得知对方的 ATIM 窗口比自己的 ATIM 窗口大 2 个级别以上,则将自己的 ATIM 窗口增大一个级别。当某一结点在 ATIM 窗口结束后因为要发送或接收数据报文而处于活跃状态时,又收到其他结点发来的 ATIM 帧,则可以响应一个 ATIM-ACK 报文,并在下一 beacon 周期中将自己的 ATIM 窗口增大一个级别,如图 3 所示。

某一结点在连续发送几次 ATIM 帧都没有收到对方响应的 ATIM-ACK 帧时(因为对方的 ATIM 窗口比自己小)就会将当前的数据报文作上标记,当结点收到发送给自己的作了标记的数据报文后,也要将 ATIM 窗口增大一个级别。如果某结点能用当前的 ATIM 窗口顺利将

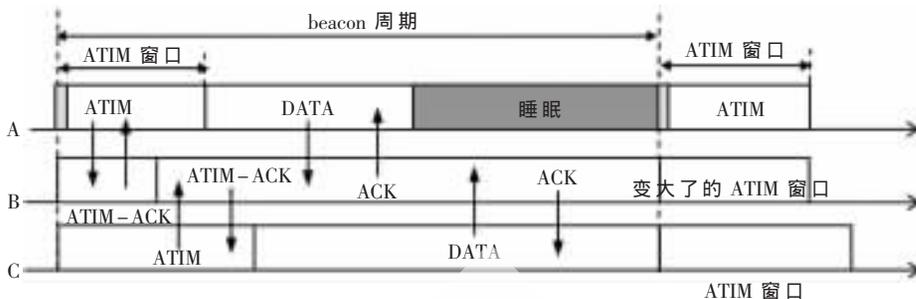


图3 DPSM 协议工作过程

所有 ATIM 帧发送给对方,这说明当前的 ATIM 窗口已经足够大,则它可以选择将 ATIM 窗口缩小一个级别。

DPSM 能够使结点根据网络状况动态调整 ATIM 窗口大小,并且在数据传输结束后就进入睡眠状态。因此比 PSM 节能效率高,同时也没有降低吞吐率。

2.3 NPSM 协议

NPSM 协议^[6](New Saving Mechanism)中报文发送完毕之后结点可以进入睡眠状态,工作过程如图 4 所示。在每一 beacon 周期开始时仍然有一段时间内所有结点都处于活跃状态。收发双方不必事先交互 ATIM 报文就可以直接发送数据报文。在发送报文的同时通过在控制报文和数据报文中携带一些特定信息来告知对方及其他结点自己当前有多少报文等待发送、要发给谁以及其他邻居结点总共多少报文等待发送给自己等信息。所有无关结点在收到这些信息后就能估算出发送报文的结点至少还会处于活跃状态多少时间,而目的结点也能知道对方有多少报文等待发送给自己。活跃窗口结束后,如果结点没有数据发送或接收就转入睡眠状态。

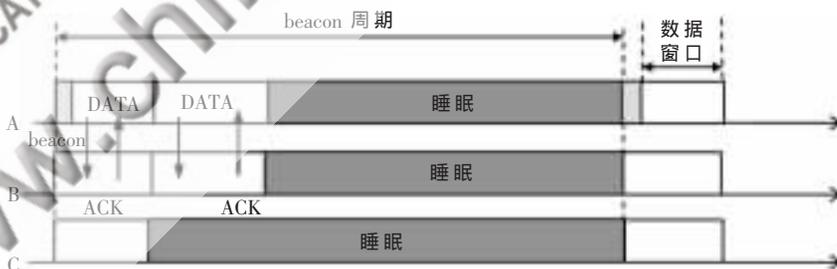


图4 NPSM 协议工作过程

由于 NPSM 协议中结点在报文发送完毕之后可以进入睡眠状态,因此比 802.11PSM 协议有更高的节能效率。同时,由于无需交互 ATIM 报文,NPSM 协议比 802.11PSM 协议有更高的吞吐率。

2.4 IPSM 协议

IPSM 协议^[7-8](Improved Power Saving Mechanism)与 DPSM 具备一样的特征,既可以动态改变 ATIM 窗口大小,又允许结点在 TW 窗口完成数据传输后转入睡眠状态。但两者采取机制完全不同。IPSM 中定义了 4 个参数:最大 ATIM 窗口 ATIMmax,最小 ATIM 窗口 ATIMmin、信道空闲时间 CIT(Channel Idle Time)、信道空闲时间门限

网络与通信 Network and Communication

CITThreshold(Channel Idle Time Threshold)。ATIMmax 和 ATIMmin 限定了 ATIM 窗口变化的范围。CIT 指在 ATIM 窗口结束时刻测得的信道持续空闲时间。CITThreshold 则提供了 ATIM 窗口增大的条件。在 ATIM 窗口结束时如果 CIT 大于 CITThreshold, 则说明信道已经空闲了足够长时间, 结点没有再试图发送 ATIM 帧, 不必改变 ATIM 窗口大小; 否则就要增大 ATIM 窗口。各个结点窗口大小变化是同步的。

IPSM 协议工作过程如图 5 所示。在 beacon 周期初始时, ATIM 窗口置为 ATIMmin, 如果在窗口结束时刻测得的 CIT 小于或等于 CITThreshold 时, 就在 ATIMmin 基础上延长 ATIM 窗口持续时间形成新的 ATIM 窗口。此过程反复进行直到 CIT 大于 CITThreshold 时或 ATIM 窗口增大到 ATIMmax 时为止。ATIM 窗口结束后, 结点开始传输数据。IPSM 协议在 ATIM 帧中和传输的数据分组中包含有结点待传输的分组数量信息。这些信息能够让目的结点判断出它是否接收完所有分组数据。如果一个结点在 TW 窗口结束了数据传输, 即使 TW 窗口还没有关闭, 结点也可进入睡眠状态。如果源结点在 beacon 周期结束时没有传输完数据, 则在下一个 beacon 周期它和目

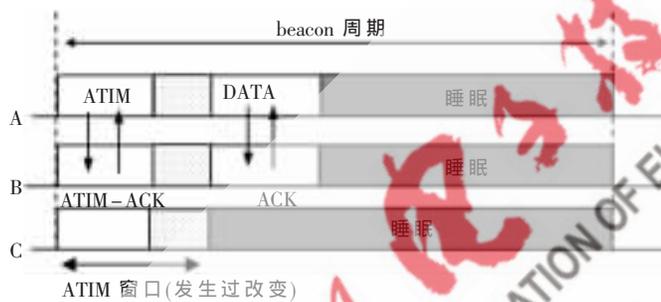


图 5 IPSM 协议工作过程

的结点处于活跃状态, 不必传输 ATIM 帧就能继续传输数据。

IPSM 协议中, 结点根据网络状况同步调整 ATIM 窗口大小, 同时数据传输结束后就能进入睡眠状态。因此其节能效果比 PSM 好。

2.5 S-PAM 协议

PSM 协议中结点在 TW 窗口进行数据传输使用 CS-MA/CA 机制, 没有竞争到信道的结点就要退避一段时间再发送。S-PAM(The Slot-based Power Saving Mechanism)协议使得结点在退避时间内转入睡眠状态, 提高节能效率。

在 S-PAM 中, 将 TW 窗口划分为几个不同的时隙。结点只在选定的时隙中传输数据, 相应只在传输数据的时隙中处于活跃态, 而在退避时隙时转入睡眠状态。传输数据时隙在 ATIM 窗口中选定并通过 ATIM 分组进行消息发布。S-PAM 工作具体过程如图 6 所示。

S-PAM 协议中, 结点在退避时间内能进入睡眠状态, 因此节能效率高。同时数据在分配好的时隙中传输, 吞吐率也得以提高。但时隙分配机制比较复杂。

以上这些协议都是针对 PSM 的不足在某一方面进行的改进, 使得节能性能得以提高。各协议性能比较如表 1 所示。目前, 从多方面综合考虑而进行的节能研究还比较少。

3 节能技术所面临的困难及发展方向

动态关闭无线接口是 802.11 协议的主要节能机制, 但需要解决好以下几个方面的问题:

(1) 如何获得全网时钟同步。PSM 及其改进协议大都使用 beacon 帧进行同步, 在全互连无线网络中是可行的。但对于多跳 Ad Hoc 网络^[9-12]而言, 由于没有一个通信范围能覆盖全网的中心结点, 使得全网同步实

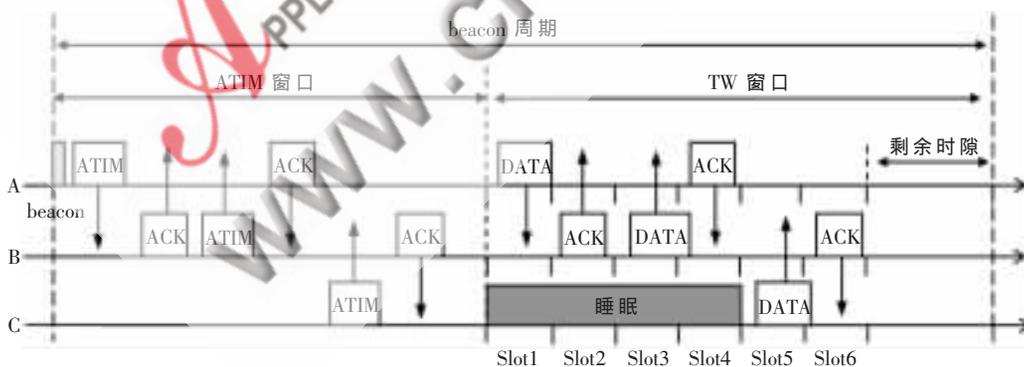


图 6 S-PAM 协议的工作过程

表 1 几种典型的 802.11 节能协议性能比较

性能指标	PSM (相对于基本的 802.11)	TIPS	DPSM	NPSM	IPSM	S-PAM
节能效果	吞吐率高时效果差, 吞吐率低时效果好。流数目少时效果好, 流数目多时效果差	优于 PSM, 流数目少时效果更好	优于 PSM	优于 PSM	优于 PSM	优于 PSM, 流数目多时效果更好
报文时延	长	与 PSM 相同	长于 PSM	长于 PSM	长于 PSM	长于 PSM
吞吐率	会有部分降低	与 PSM 相同	高于 PSM	高于 PSM	高于 PSM	高于 PSM

网络与通信 Network and Communication

现起来相当困难。这就促使研究者必须研究解决同步问题和异步时间驱动情况下的节能技术；

(2) 研究时间-报文综合驱动的节能技术。PSM 及其改进协议将时间轴划分为不同的 beacon 周期进行操作,属于时间驱动节能技术,没有过多考虑网络负荷影响。网络负荷低时节能性能显著。而在网络负荷高时节能效果比较差。报文驱动机制正好相反,它利用报文发送前交互的控制信息决定结点是否进入睡眠状态。如果能将这两种节能机制优点结合起来又克服各自缺点,则能取得更好的节能效果;

(3) 如何发送广播报文。在普通网络中,由于所有结点一直处于活跃状态,广播报文可以随时发送。而当运行节能协议时,如何发送广播报文是一个需要研究的问题;

(4) 模式转换的能耗问题。结点在睡眠状态和活跃状态间相互转换时需要消耗额外的能量。如果睡眠时间过少,它节省的能量还不足以弥补模式转换消耗的能量,此时就不宜进入睡眠状态。如何确定最少睡眠时间也是必须要解决的问题;

(5) 如何判断当前存在的邻居结点。无线网络中结点间常常要交互信息以判断有哪些邻结点。由于工作于节能模式的结点会在许多情况下处于睡眠状态,这有可能影响某些结点对邻居结点的正确判断;

(6) 协议各层如何协作以提高节能效果。节能问题涉及到网络的各层,进行跨层设计非常有必要。在 Ad Hoc 网络中,路由协议的节能研究是节能工作一个重要方面。MAC 子层节能技术要考虑与路由协议协同工作,保证当前处于睡眠状态结点也能收到必要的路由信息。

无线终端在能源有限条件下能连续工作较长时间是业界所希望的。因此节能问题引起了国际学术界的广泛关注,产业界也一直在寻求通过采用节能机制来延长终端工作时间的办法。可以预期随着时间的推移,各种新的节能机制将在无线网络中得到越来越广泛的应用,从而进一步推动无线网络的发展。

参考文献

[1] FEENEY, NILSSON M. Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an Ad Hoc networking environment[C]. INFOCOM '2001.

- [2] IEEE Std. 802.11-1999. Wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specifications[S]. IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee, New York, 1999.
- [3] WOESNER H, EBERT J P, SCHLAGER M, et al. Power-saving mechanisms in emerging standards for wireless LANs: the MAC level perspective[C]. IEEE Personal Communications, 1998: 40-48.
- [4] CHOI J M, KO Y B, KIM J H. Enhanced power saving scheme for IEEE 802.11 DCF based wireless networks[C]. In LNCS PWC'03, 2003.
- [5] JUNG E S, VAIDYA N H. An energy efficient MAC protocol for wireless LANs[C]. INFOCOM'2002.
- [6] JUNG E S, VAIDYA N H. A power saving MAC protocol for wireless networks[R]. Technical Report, Dept. of Computer Science Texas A&M University, College Station, 2002.
- [7] Eun-Sun Jung and Nitin H. Vaidya. Improving IEEE 802.11 power saving mechanism[R]. Technical Report, Dept. of Computer Science Texas A&M University, College Station, 2004.
- [8] CANO J C, MANZONI P. Evaluating the energy-consumption reduction in a MANET by dynamically switch-off network interfaces[C]. Proceedings of the 6th IEEE Symposium on Computers and Communications, 2001.
- [9] TSENG Y C, HSU C S. Power-saving protocols for IEEE 802.11-based multi-hop Ad Hoc networks[C]. INFOCOM'02, 2002.
- [10] SAFWAT A, HASSANEIN H, MOUFTAH H. A MAC-based performance study of energy-aware routing schemes in wireless Ad Hoc networks[C]. Proceedings of IEEE Globecom 2002.
- [11] 黎宁, 毛郑建. Ad Hoc 网络中的节能机制[J]. 电讯技术, 2004, 44(3): 5-11.
- [12] 郑少仁, 王海涛, 黎宁, 等. Ad Hoc 网络技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.

(收稿日期: 2010-02-24)

作者简介:

王志林, 男, 1981年生, 助理工程师, 主要研究方向: 无线通信。