

一种基于IEEE 802.11 PSM的增强节能机制

伏 飞, 刘 晶, 齐望东, 沈 洋

(解放军理工大学指挥自动化学院 南京 210007)

【摘要】分析了IEEE802.11分布式协调功能的能量节省机制,针对其采用一种固定信号时隙的局限性,提出了一种自适应节能机制。新机制采用三种信号时隙,由节点根据自己的数据流量动态选择其中一种。仿真结果表明,此机制在保持较高的吞吐量的同时,不仅大幅地提高了能量利用率,还明显地降低了时延。

关键词 IEEE 802.11节能机制; Ad Hoc网络; 信号时隙; 能量利用率
中图分类号 TN925.93 文献标识码 A

Enhanced Power Saving Scheme for IEEE 802.11 PSM

FU Fei, LIU Jing, QI Wang-dong, SHEN Yang

(Institute of Command Automation, PLA Univ. of Sci. & Tech. Nanjing 210007)

Abstract Power management is an important technique to prolong the lifetime of battery-powered wireless Ad Hoc networks. This paper analyzes the Power Saving Mechanism (PSM) of IEEE 802.11 Distributed Coordination Function (DCF) and presents a self-adaptive power saving mechanism, which consists of three different beacon intervals. In the new scheme the node selects one of the three beacon intervals dynamically, depending on its traffic. Simulation results show that the new scheme not only improves the efficiency of energy greatly but also achieves desirable transmission delay and throughput.

Key words IEEE 802.11 PSM; Ad Hoc networks; beacon interval; efficiency of energy

Ad Hoc网络是一种不依赖固定基础设施、自组织的无线网络,组网方便、快捷,不受时间和空间限制,既可用于救援、会议、战场、探险、远距离环境中的目标监控等,还可用于Internet末端网络的扩展。Ad Hoc网络节点通常采用电池提供能量,但是由于无线通信需要消耗大量的能量,目前的电池技术远不能满足多数应用的需求,因此能量问题已成为限制这种网络应用的主要瓶颈之一。如何提高无线节点能量的利用效率、延长网络生命周期,成为当前的研究热点。

节能问题几乎涉及到Ad Hoc网络协议栈的每一层,本文主要关注MAC层的节能问题。Ad Hoc网络节点的网络接口通常有传输状态、接收状态、空闲状态和休眠状态四种状态。前三种状态统称活动状态,它们的能耗较大;休眠状态称为不活动状态,能耗很小,一般是活动状态的几十分之一^[1]。但是处于休眠状态的节点不能发送和接收数据。大量的经验研究表明^[1],节点大部分能量是被空闲状态所消耗的,用于接收和发送数据的能量只占其中的一小部分。MAC层能量节省协议的主要目标就是尽量减少节点处于空闲状态的时间。

IEEE 802.11DCF(Distributed Coordination Function)是IEEE 802.11标准委员会制订的无线局域网信道接入协议,用于Ad Hoc结构的网络。IEEE802.11PSM(Power Saving Mechanism)是IEEE802.11提出的一种能量节省机制,既可用于DCF又可用于PCF(Point Coordination Function)。由于本文主要研究Ad Hoc网络的节能问题,因此只讨论用于DCF的能量节省机制(PSM)。PSM要求所有节点遵循一种单一的固定长度的信号时隙,然而单一的信号时隙通常不能同时兼顾节能、时延和吞吐量三个方面的性能。目前其他各种能量节省协议多数是对它的进一步改进,以求得在这三种性能之间的某种折衷。针对这些协议采用单一固定信号时隙的局限性,本文提出了一种自适应的节能机制,即改变固定信号时隙为可变信号时隙,由节点根据自己的数据流量动态选择信号时隙。NS仿真结果显示,与PSM相比,新机制不仅大幅提高了能量利用率,而且还保

持了较高的吞吐量和较低的时延。

1 IEEE 802.11 DCF能量节省机制的局限性

PSM以信号时隙(Beacon Interval, BI)为单位,把时间分成段。在每个BI开始时,所有节点同时进入活动状态,并竞争发送beacon 帧进行时间同步。时间同步之后,节点必须仍然保持活动状态一段时间,即ATIM(Ad Hoc Traffic Indication Message)窗口。本文假设ATIM窗口大小固定。在ATIM窗口中,有数据要发送的节点遵循CSMA/CA发送ATIM包,通知接收节点在ATIM窗口之后仍保持活动。一旦收到ATIM包,接收节点首先判断此ATIM包是否要求广播或多播,如果不要求,则立即回送一个ATIM-ACK包。至此,完成了ATIM握手过程。ATIM窗口结束后,收发双方节点开始以RTS-CTS-DATA-ACK的方式发送和接收数据,并保持活动到当前BI结束。没有数据发送和接收的节点,则在ATIM窗口之后进入休眠状态,直到下一BI开始。图1显示了节点A向节点B发送数据的全过程,节点C为A、B的邻居节点。

由上述可知,PSM之所以节能是因为它减少了没有数据收发任务节点处于空闲状态的时间,让这些节点在DATA窗口中进入休眠状态。PSM同时要求所有节点周期性地ATIM窗口中处于活动状态用以查询自己是否有数据收发任务。然而,对于没有数据收发任务的节点而言,ATIM窗口的存在仍然是一种能量的浪费。可见,BI越大,即ATIM窗口所占比重越小,节能效果将越好。然而,如果为了提高能量利用率而一味增大BI,又会带来另外两个问题:(1)时延激增,这主要是因为数据包在一个BI时间中只能穿越一跳,因此对于需要多跳传输数据包的时延,将以BI为单位增加。太大的时延将可能导致网络的不可用。(2)吞吐量下降,吞吐量的峰值出现在BI约为ATIM窗口的4倍时^[2],较大和较小的BI都将导致吞吐量的下降。因此,在PSM的单一BI机制下,如果要获得更高的能量利用率,只能以进一步牺牲部分时延和吞吐量为代价^[3-4]。

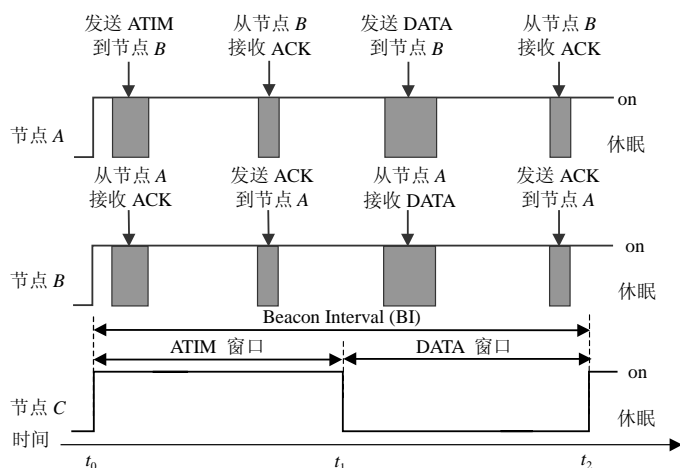


图1 802.11 PSM工作过程

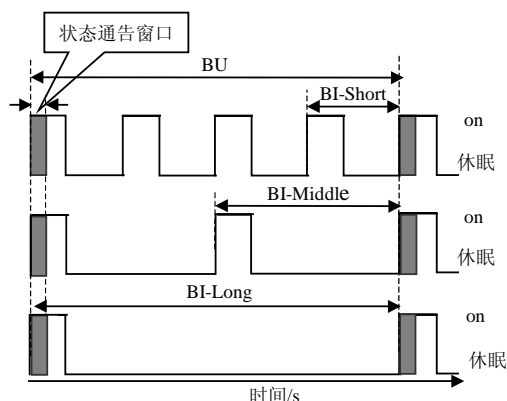


图2 TBPSM的三种BI

2 改进的机制

针对上述PSM存在的局限性,本文提出了采用三种不同BI的改进机制three-BI PSM(TBPSM)。如图2所示,三种信号时隙采用相同大小的ATIM窗口(约为BI-Short的1/4),BI-Long的时间长度为BI-Middle的两倍,BI-Middle的时间长度为BI-Short的两倍。TBPSM的目标是让没有通信任务的节点采用时间较长的BI,使其尽量“多睡眠少醒来”。一旦有两个节点要进行通信,则迅速地在两节点之间建立起一条“高速公路”,即让数据流经的节点迅速采用时间较短的BI,从而实现通信的低时延和高吞吐量。因此,TBPSM让没有数据收发任务的或仅用于传输一些路由信息以维持路由的节点,采用最长的信号时隙即BI-Long;让数据量较小的节点采用中等长度的信号时隙即BI-Middle;让数据量较大的节点采用最短的信号时隙即BI-Short。TBPSM之所以让数据量较小的节点采用BI-Middle而不直接采用BI-Short,是因为如果让通信量较小的节点采用BI-Short,也会造成很大的能量浪费。只采用三种梯度的BI而不分成更多的层次,主要是出于对无线节点的有限资源的考虑。如果根据通信量将BI分成太多的层次,一方面会增加系统设计的复杂度,运行时占用更

多的节点资源(如内存, CPU等); 另一方面不同BI间的转换也会消耗一定的能量。另外, 考虑到BI-Long和BI-Middle时间长度较长, 采用这两种BI的节点的数据量较小, TBPSM还制定了一种允许通信节点在DATA窗口中完成通信任务之后自动进入休眠的机制。

2.1 基本机制

TBPSM仍然要求全网时间同步, 以BI-Long为基本单位(Basic Unit, BU), 把时间分成段, 并规定在同一BU内, 节点只能采用一种BI。节点在BU中采用short BI则称此节点处于高状态; 采用middle BI或long BI, 则分别称为处于中状态或低状态。

TBPSM只在每个BU开始时进行时间同步, 仍然是通过让节点竞争发送beacon帧的方式进行同步。TBPSM把BU的第一个ATIM窗口的前一半用作状态通告窗口, 在当前BU中改变了状态的节点必须经此窗口以广播的方式, 告诉邻居节点自己在当前BU中采用何种状态。因此, 每个节点必须维护一张邻居节点状态表, 用以记录邻居节点的当前状态值。一旦状态通告窗口结束, 即开始正常的交互, 具体过程同PSM。但是由于存在处于不同状态节点之间的通信(例如发送节点正处于高状态的第二个ATIM窗口中, 而接收节点却处于中或低状态), 在发送ATIM帧时, 发送节点首先应根据自己和邻居节点的当前状态值确定对方是否也处于ATIM窗口。如果不是, 必须等到下一次双方同时进入ATIM窗口时才能发送。在每个BU结束时, 节点根据自己当前和历史的数据流量来预测下一BU的数据流量, 并据此决定下一BU采用何种状态。

2.2 状态转换机制

TBPSM的目标是让不同数据速率的节点采用不同大小的BI, 因此必须设立两个速率门限值 V_1 和 V_2 , 用以区分三种状态, 即让数据流量小于 V_1 的节点进入低状态, 而让数据流量大于 V_2 的节点进入高状态; 让数据流量处于两者之间的节点进入中状态。 V_1 和 V_2 的值, 必须根据实际网络环境而定。例如, 对于采用先验式路由协议的网络, V_1 的值可以适当大一点; 而对于采用反应式路由的网络, 实际 V_1 的值则要相对小一点。

TBPSM采用了一种快速跃迁缓慢下降的状态转换策略, 当预测流量速率 V 所对应的状态 S 高于当前状态时, 节点迅速进入预测状态; 当预测速率 V 所对应的状态 S 低于当前状态时, 节点要看前面连续两次的 S 是否都低于当前状态, 如果是, 则进入当前状态的低一级状态; 如果不是, 则保持当前状态不变。采用快速跃迁的策略, 是为了让节点对流量的增大保持较高的敏感度。一旦两个节点需要通信, 能够在这两个节点之间迅速架起一条“高速通道”; 至于采用缓慢下降的策略, 则是为了防止节点状态的剧烈变化。如一条途经多个节点的数据流, 可能突遇上游节点忙或拥塞而导致下游节点的流量变小, 如果不采用缓慢下降的策略下游节点会立即撤链, 当上游节点一旦恢复后则又要重新建链。在每个BU结束时, 节点重新计算预测速率为:

$$V \leftarrow 50\%V + 50\%V_{\text{history}}$$

式中 V_{history} 为当前BU内的实测流量。

3 性能仿真

本文提出的改进的节能机制可在ns2中实现, 并通过在一般场景下的仿真, 比较它和带有PSM的IEEE802.11以及不带PSM的IEEE802.11(简称NONPSM)的性能。

3.1 仿真模型

根据文献[2, 5]的建议, 设IEEE802.11PSM的BI和ATIM窗口分别为100 ms和20 ms。为了便于比较, 改进机制的三种BI分别设为50、100和200 ms; ATIM窗口为15 ms(约是BI-Short的1/4)。 V_1 和 V_2 分别设为1 kb/s和15 kb/s。场景设置为500 m×400 m的平面, 有26个节点, 节点间通信范围为200 m, 链路传输速率为2 Mb/s。共有3对CBR连接, 分别是节点 n_{2i} 与节点 n_{2i+1} 通信, $i=0, 1, 2$ 。为了保证每对连接至少三跳, 把节点 n_{2i} 安排在 $(20, 20+i \times 180)$, 把节点 n_{2i+1} 安排在 $(480, 20+i \times 180)$, 其余20个节点随机分散在场景中。3对CBR连接分别在三个随机的时刻以相同的速率 λ (packets/s)开始通信。数据包的大小为512 B。使用文献[1]的能量模型, 即发送、接收、空闲和休眠的能耗分别为1 400、1 000、830和130 mW。不考虑节点状态间切换的能量开销。路由协议采用AODV协议, 每一次仿真持续500 s。仿真结果中的数据点为同一发送速率下10个随机场景的仿真结

果的均值,如图3~5所示。

3.2 仿真结果

图3~图5分别显示了时延、能量利用率和吞吐量三方面性能指标随节点发送速率 λ 变化的情况。从图中可以看出,在网络负载没有超重即网络性能没有突变之前, TBPSM在时延和能量利用率两个方面明显优于PSM和NONPSM;在吞吐量方面三者相差不大,几乎都为1。图3中的TBPSM的曲线清楚地刻画了由于采用三种不同大小的BI导致时延随发送速率增加而逐渐接近并小于PSM时延的过程。在时延突变之前, TBPSM的时延几乎稳定在PSM的1/2到2/3之间;在突变之后, TBPSM的时延仍然低于PSM的时延。通过图4可以看出, TBPSM明显提高了能量利用率,在某些发送速率下比PSM提高了40%以上,尤其是在负载未超重之前平均提高了近20%。图5显示在网络负载不重时,三种机制的吞吐量都接近1。但是图3和图5也反映出了采用节能机制的共性问题,即降低了网络的负载能力,从而导致网络性能的提早变坏。

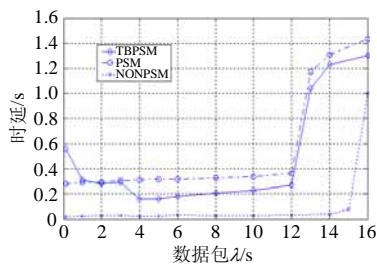


图3 平均端到端时延

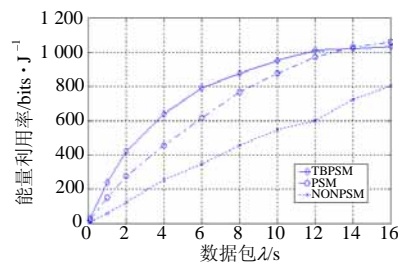


图4 能量利用率

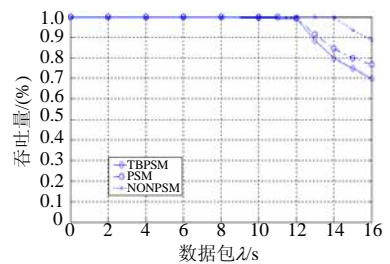


图5 吞吐量

4 结束语

能量问题已成为阻碍Ad Hoc网络广泛应用的一个障碍^[2]。当前提出的能量节省协议多数是在网络性能和节能之间寻求某种折衷。本文提出的节能机制的最大特点在于,它在大幅提高能量利用率的同时,还保证了较低的时延和较高的吞吐量。在实际应用中,该机制将是一种很有效的MAC层节能机制。

参考文献

- [1] Feeney L M, Nilsson M. Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment[C]// INFOCOM 2001, Alaska, 2001.
- [2] Woesner H, Ebert J P, Schlager M, et al. Powersaving mechanisms in energing standards for wireless lans: The MAC level perspective[J]. IEEE Personal Communications, 1998, 5(3): 40-47.
- [3] Ye W, Heidemann J, Estrin D. An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks[C]// Proceedings of the 21st Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Phoenix, 2002.
- [4] Hu C, Hou J. LISP: A link-indexed statistical traffic prediction approach to improving IEEE 802.11 PSM[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Distributed Computing Systems(ICDCS'04), Tokyo, 2004.
- [5] IEEE 802.11. Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specification[S]. 1999.

编辑 熊思亮