



研究与开发

WLAN 中基于 IEEE 802.11u 协议的 终端节能功耗管理方案

张迪

(中国飞行试验研究院, 陕西 西安 710089)

摘要: 支持 IEEE 802.11u 标准的移动终端在无线局域网提供的网络服务覆盖范围内可自动接入无线局域网。针对 IEEE 802.11u 无线局域网的特点, 提出了一种基于时间序列感知的 PSM(S-PSM) 方案。采用 IEEE 802.11u 标准中定义的公共广播服务 (GAS) 来广播传输序列信息, 所有终端根据该序列信息相应地控制自身的工作状态。为了降低竞争信道的碰撞概率, 引入了响应竞争窗口。当接入点 (AP) 中没有数据分组时, AP 广播 GAS 帧并激活空闲计时器。所有终端进入睡眠状态直到空闲计时器到期。仿真结果表明, 与传统的 PSM 相比, 该方案能显著降低功耗, 提升终端能效。

关键词: IEEE 802.11u 标准; 节能; 传输序列; 公共广播服务

中图分类号: U285.2

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019193

Schedule-aware power management for energy-efficiency improvement in IEEE 802.11u WLAN

ZHANG Di

Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China

Abstract: A mobile terminal supporting the IEEE 802.11u standard can automatically access a wireless local area network within the coverage of a network service provided by a wireless local area network. Aiming at the characteristics of IEEE 802.11u WLAN, a time series sensing based PSM (S-PSM) scheme was proposed. The transmission sequence information was broadcasted using a generic advertisement service (GAS) defined in the IEEE 802.11u standard, and all terminals controlled their own operating states according to the sequence information. In order to reduce the collision probability of the contention channel, a response contention window was introduced. When there was no data packet in the access point (AP), the AP broadcasted the GAS frame and activated the idle timer. All terminals went to sleep until the idle timer expires. The simulation results show that compared with the proposed traditional PSM, the scheme can significantly reduce power consumption and improve terminal energy-efficiency.

Key words: IEEE 802.11u standard, power saving, transmission sequence, generic advertisement service

1 引言

随着社会的不断进步,绿色环保、节能减排的思想不断深入人心。在通信技术不断发展普及的今天,在提供更高频谱利用率、更高速率和更丰富多媒体业务的同时,终端功耗问题显得尤为严重。WLAN (wireless local area network) 系统和 LTE (long term evolution) 系统都对节能机制进行了标准化工作,从一定程度上说明了节能的重要性。

IEEE 802.11 协议标准中定义了一种节能模式 (power saving mode, PSM)^[1],这是一种时间驱动的 Wi-Fi 接口动态关闭机制。PSM 定义了终端可以处于激活、空闲和睡眠 3 种状态。PSM 将时间轴分为连续的 beacon 周期,通过相关的缓存数据信息来控制终端的工作状态,使终端在没有缓存数据的情况下进入睡眠状态以节省能耗,达到节能的目的。在一个 beacon 周期内,访问接入点 (access point, AP) 发送的 TIM 信令告知终端 (STA) 的缓存信息,所有目的 STA 等待信道空闲后,DCF (distributed coordination function) 通过信道竞争的方式接收数据。PSM 规定了终端在有缓存数据时,在一个 beacon 周期内没有获得最后一个数据分组前必须保持激活状态。因此,随着 WLAN 中负载的不断增大 (接入终端 STA 过多),当一个 STA 占据信道传输数据时,其他未接收数据的 STA 则处于空闲状态的情况,从而造成能量的浪费。并且过多的终端接入也会造成严重的接入碰撞,从而减小系统的吞吐量。因此,针对过多终端接入的情况,设计一种合理的终端功耗管理方案和节能方案是有必要的。

近年来,很多学者在终端功耗方面做了很多工作,主要体现在对传统节能方案 (PSM) 的改进上^[2-4]。参考文献[2]提出了一种 AP 集中式的节能方案 (AP-centric PSM),AP 根据传输情况为终端选择最优的 PSM 参数,例如 beacon 周期和监

听周期 (listen interval, LI) 的大小,以此来获取所有终端整体能量利用率的最大化。参考文献[3]提出了一种根据当前 TCP 握手协议的时间来动态选取合理的监听周期的方法。在参考文献[4]中,详细分析了这种将时间分成 beacon 周期后,终端的不连续连接对最小化终端能量消耗的影响。这些改进和分析工作都是通过选择合理的 PSM 参数来进一步提高节能性能,没有从根本上解决终端处于空闲状态造成的能量浪费问题。在参考文献[5]中,在传统 PSM 基础上做出一定改进,在每次传输过程中,让与该次传输无关的终端进入睡眠状态来节约能量。但没有考虑过多终端接入时 PSM 会有较大概率发生碰撞,从而造成错误传输和重传次数增加,这也是一种能量浪费。因此在提高能量利用率的基础上进一步减小碰撞概率,提高系统吞吐量是方案中的关键。

参考文献[6-9]都提出了基于策略的终端节能机制,在不同的应用情形和策略条件下进入睡眠状态来节省能量。参考文献[6,9]都提出了基于不同类型流量 QoS 要求的无线状态切换决策,在保证 QoS 的前提下降低了终端的能耗。参考文献[7]提出了一种基于机器学习 (machine learning, ML) 分类器的上下文感知网络流量分类方法,用于优化无线模块的功耗,但由于机器学习增加了终端 CPU 的运算负荷,总体移动终端的能耗没有明确说明。参考文献[8]从链路资源消耗的角度,针对链路资源较差的 PSM 客户端进入节能模式来节约电能,却无法保证系统的公平性和满足用户的 QoS 要求。

为了克服上述不足,在较多终端 STA 接入 WLAN 的情况下,提出了一种有效的能量管理方案来提高终端能量利用率。针对传统的 PSM 方案和 IEEE 802.11u 协议^[10],本文提出一种序列可行的节能方案,具有以下 3 个特点:在有缓存的情况下,AP 通过 IEEE 802.11u 协议中定义的 GAS 向 STA 发送附带有目的终端 ID、传输序列和传输



数据长度的控制信息, 终端以此来判断自身的睡眠和唤醒时期, 在与自己无关的传输时期处于睡眠状态来节省电量; 在无缓存的情况下, AP 开启空闲计时器, 不再检测缓存内容, 终端进入睡眠状态, 计时器溢出时, 所有终端被唤醒并且 AP 检测缓存情况; 引入竞争窗口这一概念来减少 STA 竞争信道时的碰撞概率。

2 系统模型

WLAN 中基于 IEEE 802.11u 协议的终端节能方案系统模型如图 1 所示。定义 AP 为接入终端 STA 缓存数据, AP 和终端 STA 之间通过 IEEE 802.11u 协议中的 GAS (generic advertisement service, 公共广播服务) 信令进行信息交换。提出该序列可行的终端节能功耗管理方案 (schedule-aware power saving mode, S-PSM) 的目的是在大量支持 IEEE 802.11u 的终端 STA 自动选择接入网络的情况下, 终端 STA 可以根据接入点 AP 发送的传输序列信息来改变其睡眠和唤醒状态, 以此避免终端 STA 在等待信道空闲时处于空闲状态而浪费能量。本方案在网络接入终端 STA 较多的情况下节能效果尤为明显。在该方案中, 终端 STA 只有激活状态和睡眠状态这两种状态, 并且在一次传输周期中有缓存数据的终端 STA 都能获取一次传输机会, 在有缓存的情况下, AP 通过 IEEE 802.11u 协议中的 GAS 信令向终端 STA

发送附带有目的终端 ID、传输序列和传输数据长度的控制信息, 终端 STA 以此来判断其睡眠期和激活期, 在每次传输时, AP 广播 GAS 信令, 处于激活状态的终端 STA 根据 GAS 信令进行时钟同步后开始接收数据^[11-12], 这样终端 STA 就会在没有数据传输时进入睡眠状态来节省电量。因此本方案能够达到降低终端 STA 能耗的目的, 能够在较多终端 STA 接入 WLAN 的情况下, 有效地提高终端 STA 的能量利用率。

3 WLAN 中基于 IEEE 802.11u 协议的终端节能方案

该方案为减少基于 IEEE 802.11u 协议的终端 STA 的能耗, 当 AP 中有 STA 的缓存数据时, AP 通过 GAS 代替 PSM 中的 TIM 向 STA 发送缓存数据信息, GAS 信令附着着数据需要传输的目的站点的 ID、传输序列和传输数据长度, 以此来控制终端 STA 的睡眠和唤醒时期。在系统模型中, 将所有有缓存数据的 STA 都接收一个自己的数据定义为一次传输周期。在这个传输周期内: AP 广播 GAS 后, 接收到 GAS 信令的终端判断自己是否有数据缓存在 AP 中, 并且 AP 开启应答竞争窗口 (respond contention window, RCW), 所有 STA 根据 DCF 竞争规则向 AP 竞争发送 GAS-respond 信息, AP 接收到全部有缓存数据 STA 的 GAS-respond 之后, 根据先到先传算法 (first come

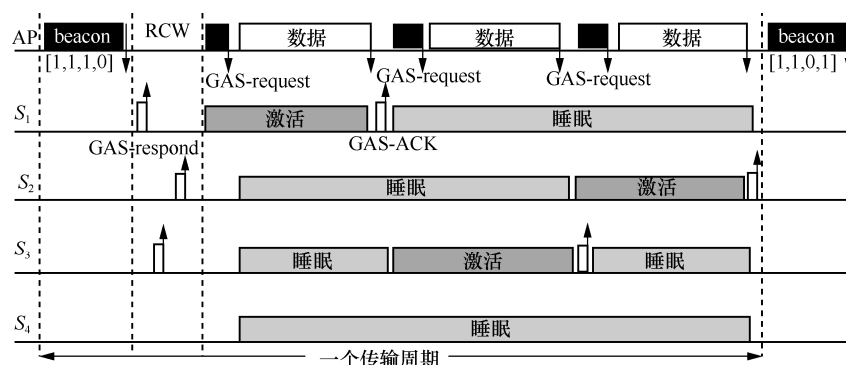


图 1 WLAN 中基于 IEEE 802.11u 协议的终端节能方案系统模型

first serve algorithm) 确定数据传输序列。此时, 应答竞争窗口关闭, 开始进入传输阶段。AP 广播 GAS 信令, 处于激活状态的 STA 根据 GAS 信令进行时钟同步, 并且根据其携带的数据发送顺序和数据长度来确定自身的睡眠期和唤醒时期。在每次传输时, AP 广播 GAS 信令, 处于激活状态的 STA 根据 GAS 信令进行时钟同步后开始接收数据, 这样 STA 就会在没有数据传输时进入睡眠状态而不会浪费能量。但是由于没有采用周期性唤醒 STA 的驱动模式, 因此所有 STA 只能根据 AP 广播的 GAS 控制自身状态的改变, 因此就出现了没有数据缓存时, AP 不断地检测缓存, STA 一直处于接收 GAS 帧而无所作为的情况, 从而造成能量的浪费, 因此设置了一个空闲定时器来解决这种问题。当 AP 没有任何 STA 的缓存数据时, AP 发送 GAS 帧告知所有终端进入睡眠状态并开启计时器(睡眠时间为计时器的溢出时间)。在计时器开启的过程中, AP 不再检测缓存情况, 所有 STA 处于睡眠状态。在计时器溢出后, 所有 STA 被唤醒, AP 检查是否有缓存数据并发送 GAS 控制信令。如果有数据, 则按照上述传输过程进行传输; 如果没有, 则再次启动计时器, STA 再次进入睡眠状态。其具体工作步骤如下。

步骤 1 当终端 STA 接入 WLAN 时处于激活状态, 等待 AP 发送 GAS 信令。

步骤 2 AP 根据缓存信息向所有接入的终端 STA 发送 GAS 信令。当 AP 无缓存数据时, 开启计时器, 并向终端 STA 发送睡眠控制信息, 使终端 STA 睡眠至计时器溢出时刻, 此时终端 STA 被唤醒, 唤醒后终端 STA 继续接收 AP 发送的 GAS 信令, 若此时 AP 仍无缓存数据, 则重新开启计时器, 使终端 STA 继续睡眠至计时器溢出时刻, 终端 STA 被唤醒后重复上述步骤, 直至 AP 有缓存数据时进行步骤 3。

步骤 3 当 AP 有缓存数据时, AP 广播附带数据传输目的终端 ID 的 GAS 信令, 接收到 GAS

信令的所有目的终端判断其是否有数据缓存在 AP 中, 并且 AP 开启应答竞争窗口, 在应答竞争窗口中所有目的终端根据 DCF 竞争规则向 AP 竞争发送 GAS-respond 信令, 非目的终端直接进入睡眠状态。

使用 IEEE 802.11u 协议中 GAS 信令预留的元素标识使 GAS 信令携带目的终端的 ID 和其所要接收的数据长度和接收顺序, 其中目的终端所要接收的数据长度被用来在接收到传输序列后确定其睡眠期时长。应答竞争窗口为降低终端 STA 竞争信道时碰撞概率所设置。在应答竞争窗口中成功发送 GAS-respond 信令后的终端 STA 不再参与信道竞争, 这样可以减少 STA 的碰撞概率。

步骤 4 应答竞争窗口关闭后, AP 接收到所有缓存数据的目的终端发送的 GAS-respond 信令, 根据先到先传算法确定目的终端的传输顺序, 进入传输阶段。

步骤 5 AP 开始传输时广播 GAS 信令进行时钟同步, 所有目的终端根据其携带的传输序列和传输数据的长度来确定其在一次传输周期内的睡眠期和激活期; 每个终端 STA 仅在其传输时处于激活状态, 其余时间为睡眠期。

终端 STA 根据其携带的传输序列和传输数据的长度来确定其在一次传输周期内的睡眠期和激活期的具体操作为: 目的终端接收到 GAS 信令后, 根据传输序列确定其处于传输序列的位置, 根据其他 STA 传输数据的时长确定其睡眠期和唤醒时刻, 从而在该时刻处于激活状态来接收数据。

步骤 6 每个终端 STA 开始接收数据时, AP 都发送 GAS 信令进行时钟同步, 所有目的终端完成一次数据接收后一次传输周期结束; 然后开始下一次传输过程, 重复步骤 2~步骤 5。

由于在 WLAN 中, 终端竞争信道采用分布式协调功能(distributed coordination function, DCF), 假设在一个 WLAN 中有 N 个终端需要接入网络接收数据, 用 $T_i(i=1, \dots, N)$ 分别表示终端



$S_i (i=1, \dots, N)$ 接收一次数据所需的时间, 则所有终端接收数据的序列个数为 $N!$ 。用 M_k 表示第 k 个传输序列, 用 I_{M_k} 表示第 k 个传输序列传输完成后所有终端的空闲时间 (假设该传输序列为 $S_1, S_2, \dots, S_{N-1}, S_N$):

$$I_{M_k} = T_1 + (T_1 + T_2) + \dots + (T_1 + \dots + T_{N-3} + T_{N-2}) + (T_1 + \dots + T_{N-2} + T_{N-1}) \quad (1)$$

则对于完成一个序列的传输所有终端空闲时间的期望为:

$$E[T] = \frac{1}{N!} \sum_{k=1}^{N!} I_{M_k} \quad (2)$$

根据数学归纳法可以得到:

$$\sum_{k=1}^{N!} I_{M_k} = (N-1)! \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{i=1}^N T_i = \frac{N!(N-1)}{2} \sum_{i=1}^N T_i \quad (3)$$

由此可以得到一个随机传输序列传输完成后所有终端的空闲时间期望为:

$$E[T] = \frac{1}{N!} \sum_{k=1}^{N!} I_{M_k} = \frac{(N-1)}{2} \sum_{i=1}^N T_i \quad (4)$$

所以, 在传统的节能方案中, 在每个 beacon 周期内终端的空闲时间受到接入终端数的影响, 当过多的终端接入网络时, 终端所处的空闲时间就会变得很长, 从而造成能量的浪费。

在终端竞争信道过程中, 初始状态时所有终端的退避窗口为 $CW_{\min}$, 每个终端随机得到的退避时间 BT ($0 < BT \leq CW_{\min}$) 的概率为:

$$p = \frac{1}{CW_{\min}} \quad (5)$$

在传统的节能方法中, 由于在一个 beacon 周期内, 终端完成一次数据接收后, 检查 TIM 帧中的 MORE DATA 地址判断是否被置零, 如果没有被置零, 则该终端还要参与信道竞争, 直到最后一个数据分组被取回后才进入睡眠状态。因此, 对于第 i 个终端, 它竞争信道时不发生碰撞的概率为:

$$P_i^{\text{psm}} = 1 - \sum_{j=2}^M C_M^j p^j, M \geq N-i+1 \quad (6)$$

由上述两方面分析可知, 终端的空闲时间和系统内的碰撞概率都受到接入终端数的影响, 因此终端可以根据 AP 发送的传输序列和数据长度来判断自身的睡眠和唤醒状态, 因此在每一次传输过程, 终端只有在自己传输时处于激活状态, 其余时间为睡眠状态。这样终端就不会处于空闲状态, 从而达到节能的目的。对于减少碰撞概率, 设想将终端的竞争过程集中起来, 并且规定成功发送竞争信道后不再参与信道竞争, 因此, 对于第 i 个竞争成功的终端, 它竞争信道时不发生碰撞的概率为:

$$P_i = 1 - \sum_{j=2}^{N-i+1} C_{N-i+1}^j p^j \quad (7)$$

比较两个成功竞争信道的概率, 可以得到:

$$P_i - P_i^{\text{psm}} = \sum_{j=2}^M C_M^j p^j - \sum_{j=2}^{N-i+1} C_{N-i+1}^j p^j = \begin{cases} \sum_{j=N-i+2}^M C_M^j p^j + \sum_{j=2}^{N-i+1} (C_M^j - C_{N-i+1}^j) p^j > 0, M > N-i+1 \\ 0, M = N-i+1 \end{cases} \quad (8)$$

所以有 $P_i \geq P_i^{\text{psm}}$, 由此可知, 该方案可以减少碰撞概率, 增大每个传输周期内终端成功传输的概率。

4 仿真结果与分析

对提出的 S-PSM 方案进行性能的仿真实验, 并且与传统的方案进行对比, 通过观察能耗、吞吐量、时延 3 方面的性能来体现方案的性能。仿真场景如下: 在一个 WLAN 内, AP 可以为终端缓存数据。终端数据到达服从均值为 λ 的泊松分布, 在终端有数据要接收时, 需要通过 DCF 规则竞争信道。由于在提出的方案中终端可以自由控制自己的 Wi-Fi 接口状态, 因此认为通信接口从睡眠状态转为激活状态时的能耗为激活状态的两倍。其他仿真参数见表 1。

表1 仿真参数

仿真参数	参数值
用户数	2~14
数据传输速率	11 Mbit/s
数据分组大小	1 500 byte
PS-Poll 帧大小	14 byte
ACK 帧大小	14 byte
平均数据分组到达间隔	10/30/50 ms
一个时隙大小	20 μ s
SIFS	20 μ s
DIFS	50 μ s
beacon 周期	100 ms
监听周期	100 ms
睡眠状态能耗	50 mW
激活状态能耗	750 mW
空闲状态能耗	750 mW
AP 缓存区大小	2 GB

首先通过仿真观察传统 PSM 机制的节能效果。不同数据到达间隔下的 PSM 节能效果如图 2 所示,可以看到,当网络中的仿真用户为 2~14 个时,PSM 机制的节能效果越来越不明显。当网络内用户超过 8 个时,终端没有节能效果。

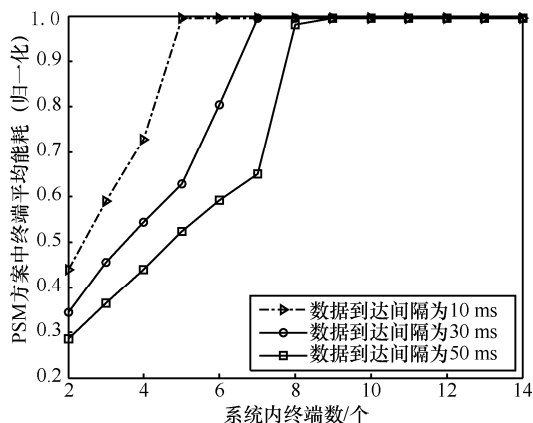


图2 不同数据到达间隔下的 PSM 节能效果

仿真中数据分组的大小和传输速率都是一定的,因此,终端的平均空闲时间为:

$$T_{\text{avg}}^{\text{psm}} = \frac{N-1}{2} T_i \quad (9)$$

其中, T_i 为仿真中终端接收数据时长。

因此随着终端数的增加,每个终端处于空闲状态的时间也在增加,由于空闲状态的能耗和激活状态能耗相差不大,造成能量浪费。这与图 2 中的结论是一致的。并且随着数据到达间隔的减小,终端在 AP 缓存区有数据的概率越来越大,在这种情形下,PSM 机制的节能效果越发显得力不从心,当数据间隔 $\lambda = 10$ ms、网络内终端数达到 5 个时,终端基本上没有什么节能效果了。

两种机制中终端处于空闲状态、睡眠状态、竞争信道状态的时长如图 3 所示。可以看出,S-PSM 方案可以有效地保证终端的睡眠时间,使终端在没有数据通信的情况下进入睡眠状态以节能。并且随着网络内终端数的增加,S-PSM 方案中终端的睡眠时间呈现先减小后增加的趋势,这是因为当网络内终端数较少时,AP 缓存区出现没有缓存的概率变大,这样终端和 AP 会在开启空闲计时器后进入睡眠状态,而随着终端数的增加,缓存区没有缓存的概率逐渐减少,终端不会过多地进入计时器控制的睡眠状态,其睡眠状态的平均时长就减少了,然而随着网络内终端数的不断增加,由于第 j 个终端在一个传输周期内处于睡眠状态的时间可以表示为:

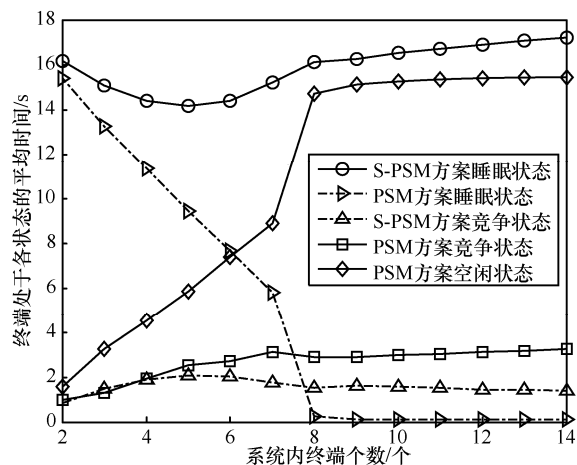


图3 PSM 机制和 S-PSM 方案中终端在各状态的平均时长



$$T_{\text{sleep}}^{\text{s-psm}}(j) = \sum_{i=1, i \neq j}^N T_i \quad (10)$$

因此,随着终端数 N 的增大,其睡眠时间也变得越来越长。并且观察终端在两种方案中处于竞争信道状态的时长可以看出,方案在引入空闲竞争窗口和规定传输序列后,可以有效减少终端发生碰撞的情形,因此在仿真时间一定的情况下,终端会有更多的时间来传输数据,这对系统吞吐量也有一定的提升。

还需要保证终端的其他性能没有发生较大的损耗,PSM 机制和 S-PSM 方案终端平均吞吐量对比如图 4 所示。

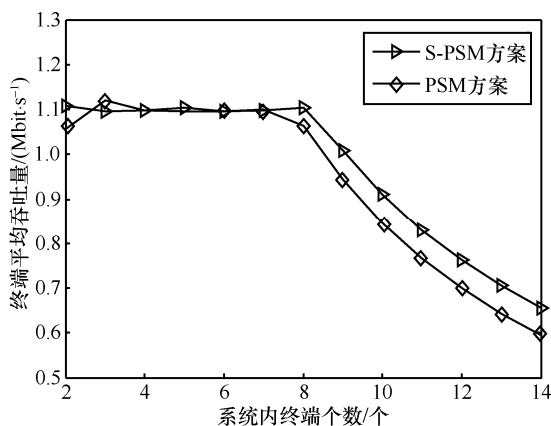


图 4 PSM 机制和 S-PSM 方案终端平均吞吐量对比

由图 4 可以看出, S-PSM 方案在终端数较少的情况下,可以保证和 PSM 机制相同的终端吞吐量。随着终端数的增多,由于 PSM 方案中终端每次接收数据都要竞争信道,这样就会出现较大的碰撞概率, AP 无法正确接收到 PS-Poll 帧。这样终端按照退避规则重新竞争,竞争窗口的变大会使终端处于竞争状态的时间过长,这样在总仿真时间一定的前提下,终端用来接收数据的时间就变少了。而在 S-PSM 方案中,终端成功发送应答帧后就不再竞争信道,这样有效地减少了碰撞概率,增加了终端用来接收数据的时间,因此可以看到在网络内终端数多的情况下, S-PSM 方案比传统机制的终端平均吞吐量要高。

PSM 机制和 S-PSM 方案终端平均能效对比如图 5 所示。从图 5 可以看出, S-PSM 方案始终保持了较高的终端能效,在减少终端能耗的同时,对终端吞吐量的性能也有改善,因此可以获得比传统方案更高的终端能效。PSM 机制和 S-PSM 方案终端平均分组时延对比如图 6 所示, S-PSM 方案在网络终端 STA 数较多时有一定的降低分组时延的效果,这也是由于终端不会在竞争状态消耗较长时间,并且不会使退避窗口变得很大,减少了退避时间,因此会带来时延稍微的减少。

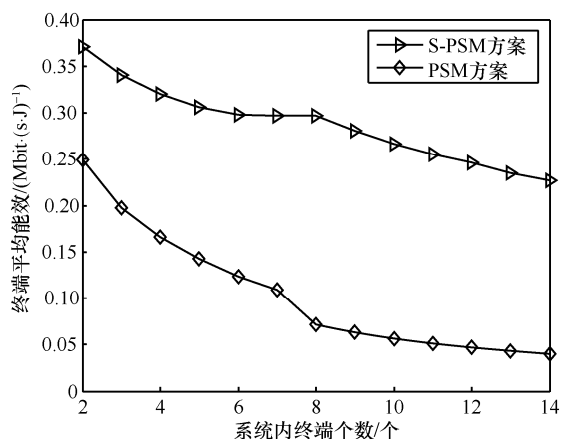


图 5 PSM 机制和 S-PSM 方案终端平均能效对比

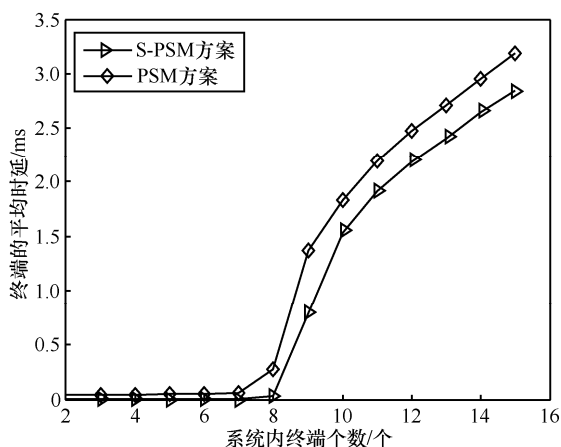


图 6 PSM 机制和 S-PSM 方案终端平均分组时延对比

在 S-PSM 方案中,由于没有采用周期性唤醒终端的驱动模式,因此所有终端只能根据 AP 广播的 beacon 帧中携带的传输序列与传输时长来控制自身状态的改变,因此就出现了没有数据缓存

时, AP 不断地检测缓存, 终端一直处于接收 beacon 帧而无所作为的情况。针对这种情况引入了空闲定时器。在 AP 没有任何终端的缓存数据时, AP 发送 beacon 帧告知所有终端进入睡眠状态并开启计时器。在计时器开启的过程中, AP 不再检测缓存情况, 所有终端处于睡眠状态, 睡眠时长和空闲计时器时长相当。在计时器溢出后, 所有终端被唤醒, AP 再次检查是否有缓存数据并发送 beacon 帧信令。如果有数据, 则进行数据传输过程; 否则再次启动计时器, 终端再次进入睡眠状态。

S-PSM 方案中空闲计时器对终端处于各状态时长的影响如图 7 所示, 可以看到空闲计时器对终端处于各状态时长的影响主要体现在网络内终端数较少的时候。在网络内终端数较少时, 若没有引入空闲计时器, 终端会有较多时间处于激活等待状态。随着网络内终端数的增加, 终端处于激活等待状态的时间越来越少。这是因为当网络内终端数较少时, AP 缓存区没有数据的概率会比较大, 若没有引入空闲计时器, AP 不断地检测缓存信息, 终端一直处于接收 beacon 帧的激活等待状态。在引入空闲计时器后, 在 AP 没有任何缓存数据时, AP 发送 beacon 帧告知所有终端进入睡眠状态并开启空闲计时器。在计时器溢出之前, AP 不再检测缓存情况, 所有终端处于睡眠状态, 并在计时器溢出时刻唤醒。这样就避免了终端处于激活等待状态而造成能量浪费。S-PSM 方案中空闲计时器对终端能耗的影响如图 8 所示, 与终端在各状态时长相对应, 在网络内终端数较少时, 空闲计时器使终端依旧可以获得较好的节能效果。

5 结束语

本方案是基于 IEEE 802.11u 协议设计的, 目的是在大量支持 IEEE 802.11u 终端自动选择接入网络的情况下, 终端可以根据 AP 发送的传输序列

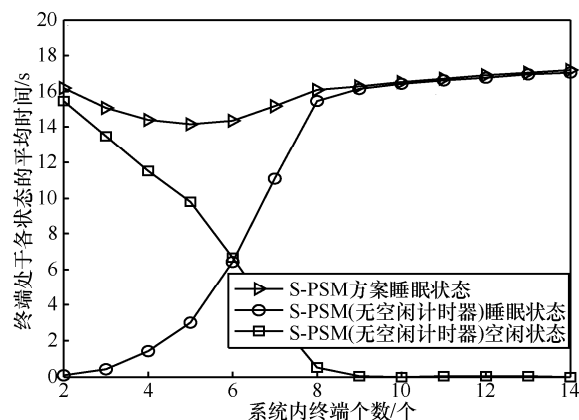


图7 S-PSM 方案中空闲计时器对终端处于各状态时长的影响

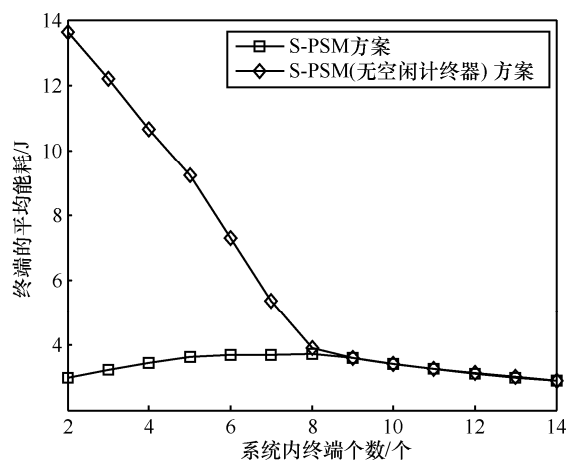


图8 S-PSM 方案中空闲计时器对终端能耗的影响

信息来改变自身的睡眠和唤醒状态, 以此避免终端在等待信道空闲时处于空闲状态而浪费能量。本方案在网络接入终端较多的情况下节能效果尤为明显。并且针对过多终端在竞争信道时会发生较为严重的碰撞情况, 引入了竞争应答窗口机制来降低碰撞概率。通过尽可能减少错误传输和重传次数来相应地提高系统的吞吐量。仿真结果表明, 相对于传统的终端节能方案 (PSM), 本方案能够有效延长 WLAN 中终端的通信时长和提高系统的吞吐量。由于未来移动终端的应用场景会面向移动蜂窝网和 WLAN 构建的异构网络, 原有 LTE 网络中的 DRX 节能机制和 WLAN 中的 PSM 机制都面临着如何唤醒激活工作的问题^[13]。因此, 后续研究主要集中在异构网络下的终端能耗管理方面。



参考文献:

- [1] IEEE. Wireless LAN medium access control and physical layer specifications: IEEE 802.11, part 11[S]. 1999.
- [2] XIE Y, LUO X P, CHANG R K C. Centralized PSM: an AP-centric power saving mode for IEEE 802.11 infrastructure networks[C]//The 32nd International Conference on Sarnoff Symposium, March 30-April 1, 2009, Princeton, New Jersey, USA. Piscataway: IEEE Press, 2009.
- [3] NATH S, ANDERSON Z, SESHAN S. Choosing beacon periods to improve response times for wireless HTTP clients[C]//The Second International Workshop on Mobility Management & Wireless Access Protocols, October 1, 2004, Philadelphia, PA, USA. Piscataway: IEEE Press, 2004.
- [4] KRASHINSKY R, BALAKRISHNAN H. Minimizing energy for wireless Web access with bounded slowdown[J]. Wireless Networks, 2005(11).
- [5] LI N, XU Y, XIE S L. A modified version of IEEE 802.11 power-saving protocol[J]. Journal of System Simulation, 2005, 17(1).
- [6] UMER S, BROWN K N, SREENAN C J. Advanced energy saving mechanism for multi-radio multi-channel wireless mesh networks[C]//2018 IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Sep 9-12, 2018, Bologna, Italy. Piscataway: IEEE Press, 2018: 1-7.
- [7] SAEED, KOLBERG M. Towards optimizing WLANs power saving: novel context-aware network traffic classification based on a machine learning approach[J]. IEEE Access, 2019(7): 3122-3135.
- [8] LIU D, WANG H, ZHOU G, et al. Arbitrating traffic contention for power saving with multiple PSM clients[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2016, 15(1): 7030-7043.
- [9] JUNG W H, RHEE S H. Adaptive power saving algorithm for IEEE 802.11 mobile access points[C]//2017 Ninth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), July 4-7, 2017, Milan, Italy. [S.l.:s.n.], 2017: 800-802.
- [10] IEEE. Wireless lan medium access control and physical layer specifications, amendment 9: interworking with external networks: IEEE 802.11u, part 11[S]. 2011.
- [11] HUABG L X, WANG H, YUAN L Y, et al. Improved LEACH protocol algorithm for WSN based on energy balance and high efficiency[J]. Journal on Communications, 2017, 38(Z2): 164-169.
- [12] QIN D Y, JIA S, YANG S X, et al. Research on trust sensing based secure routing mechanism for wireless sensor network[J]. Journal on Communications, 2017, 38(10): 60-70.
- [13] 孙毅, 王鸿, 宋荣方. 异构网络中两种边缘缓存策略的能耗分析[J]. 电信科学, 2018, 34(1): 17-26.

SUN Y, WANG H, SONG R F. Analysis of energy consumption of two kinds of edge caching strategies in heterogeneous networks[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(1): 17-26.

[作者简介]



张迪(1989—), 男, 中国飞行试验研究院工程师, 主要研究方向为机载网络化测试和科技成果管理。