

基于业务量的自适应 IEEE802.16e 休眠机制

杨磊磊 黎海涛

(北京工业大学电子信息与控制工程学院 北京 100124)

摘要 IEEE802.16 系统中引入休眠模式来减小终端的能量消耗以及对服务基站空口资源的占用。为了进一步提高终端的省电率,提出了一种基于业务量的自适应休眠机制。它能够根据终端当前的业务繁忙程度动态调整其工作模式,有效地避免了终端在普通模式与休眠模式之间频繁切换。通过建立该休眠机制的马尔科夫模型,分析了终端平均功率消耗、平均时延与计数器门限值之间的关系。仿真结果表明,与标准的指数增长算法相比,提出的休眠机制能量节省率至少可提高30%。

关键词 IEEE802.16e, 休眠模式, 业务量, 能量消耗

中图分类号 TN92 **文献标识码** A

Traffic-based Adoptive Sleep Mode Scheme for IEEE802.16e

YANG Lei-lei LI Hai-tao

(College of Electronic Information and Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract The sleep mode is utilized to reduce the energy consumption of the mobile station and the resource occupation of the air interface of serving base station in IEEE802.16e network. In order to improve the efficiency of energy saving, a practical sleep mode based on traffic was proposed. User's work mode can be determined according to the user's active level and the frequent, so that user switch between wake mode and sleep mode can be reduced in the proposed scheme. Simulations were undertaken to verify the proposed scheme and analyze the effect of the threshold of counters on mean energy consumption and mean response time. The simulation results show that the proposed scheme can save at least 30% of energy compared with the standard method.

Keywords IEEE802.16e, Sleep mode, Traffic, Energy consumption

1 引言

无线通信系统中,终端主要由电池供电,如何降低终端能量消耗、延长其工作时间成为业界研究的热点。IEEE802.16e 标准中,制定了休眠模式来减少终端的能量消耗以及对服务基站空口资源的占用。移动终端的能量消耗主要取决于其基带和射频电路导通的总时长。终端处于普通模式时,其基带和射频电路一直处于导通状态,而休眠模式则能够在低业务量时期暂时将基带和射频电路关闭,暂时中断与基站的联系,以此达到节省能量的目的。

IEEE802.16e^[1]的MAC层是面向连接的,它根据业务连接的QoS要求将休眠模式划分为3种省电类型。其中省电类型I用于非实时轮询(nrtps)和尽力而为的连接业务(BE);省电类型II用于非请求的带宽分配(UGS)以及实时轮询业务(rtPS);省电类型III用于管理连接和多播连接。从省电类型I所面向的连接可以看出,省电类型I为一种非实时、能够忍受一定时延的休眠状态。同时,终端连接采用省电类型I并处于监听窗口时,就能够像普通模式一样接收所有下行数据^[7]。

基于上述特点,本文提出一种基于业务量的自适应休眠机制。它通过在终端与基站两侧同时设置一个用于表征终端繁

忙程度的计数器,对终端的工作模式的转移进行控制。该机制有效地避免了终端在普通模式与休眠模式之间频繁的切换;延长了终端处于休眠模式的时长;同时减小了基站的信令开销。

2 IEEE802.16e 休眠模式

IEEE802.16e 标准规定的休眠模式如图1所示。当终端(MS)在一段时间内无数据业务时,则主动发送 MOB_SLP_REQ 消息给基站(BS)请求进入休眠模式。基站收到请求消息后,回复包含第一个休眠窗口开始帧号、起始休眠窗口(t_{min})、最终休眠窗口(t_{max})以及监听窗口(L)等参数的 MOB_SLP_RSP 消息。终端收到回复消息后,在第一个休眠窗口开始帧号指定帧时,激活休眠状态。

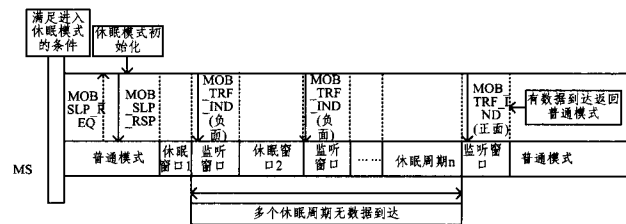


图1 IEEE 802.16e 休眠模式

到稿日期:2012-07-30 返修日期:2012-10-30 本文受北京市自然科学基金资助项目(4112012),北京市教委科技成果转化项目资助。

杨磊磊(1987-),女,硕士生,主要研究方向为无线通信,E-mail:leileiyang0319@163.com;黎海涛(1972-),男,博士,副教授,主要研究方向为无线通信、信号处理等。

整个休眠过程包含多个休眠周期(SC),每个休眠周期由一个休眠窗口和一个监听窗口组成。终端处于休眠窗口时,不接受来自于基站的下行数据,此时为不可用状态;处于监听窗口时,接收基站发送的消息。MOB_TRF_IND消息用于指示终端是否需要退出休眠模式。若该消息为正面(positive)指示,表明基站缓存有发送给终端的下行数据。为避免数据传输的时间延迟,终端应立即退出休眠模式进入普通模式。若为负面(negative)指示,则终端在监听窗口结束后进入下一个休眠周期。其中监听窗口的大小为定值 L ;第一个休眠周期的休眠窗口大小为 t_{min} ;其后的休眠窗口为上一个休眠窗口的两倍,直至增大到 t_{max} 后保持不变。则第 n 个休眠窗口的大小为^[4]:

$$t_n = \begin{cases} 2^{n-1}t_{min}, & 2^{n-1}t_{min} < t_{max} \\ t_{max}, & 2^{n-1}t_{min} \geq t_{max} \end{cases} \quad (1)$$

为进一步减少终端的能量消耗,针对较高负载时MS出现频繁进行工作状态转换的问题,提出了一种基于业务量的自适应休眠机制。

3 基于业务量的自适应休眠机制

考虑到终端处于监听窗口时基带和射频电路同样处于导通状态,能像普通模式一样接收来自于基站的下行数据^[8],本文提出的休眠机制将取消在监听窗口接收 MOB_TRF_IND消息,利用该时间段接收基站发送的下行数据。当数据业务量较少时,基站和终端可以利用一个或多个监听间隔进行数据传输,而不需要由休眠模式切换到普通模式。当数据业务较多时,基站将利用多个连续的休眠周期发送数据给终端。综合以上分析,连续有发送数据的休眠周期的个数可以表征该时刻终端是否处于业务繁忙时期,以此为依据决定终端是否由休眠模式切换到普通模式。

基于业务量的自适应休眠机制实现过程如图2所示。在基站与终端两侧同时设置计数器 C_{BS} 和 C_{MS} ,用于统计终端连续有数据传输的休眠周期的个数。当终端在监听间隔有数据传输时,两计数器同时加1,由此可以将终端当前的业务繁忙程度通过计数器的统计值具体化,以此为依据令终端进行工作模式的转移。当终端连续多个休眠周期均进行数据传输并超过计数器预先设定的门限值时,表明此刻终端为业务繁忙时期,需要由休眠模式进入普通模式。若在计数器计数过程中,某个休眠周期终端无数据到达,则两计数器 C_{BS} 和 C_{MS} 同时置0重新开始计数。

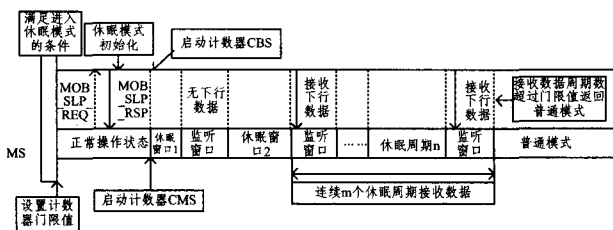


图2 基于业务量的自适应休眠机制

4 建模分析

下面对提出的休眠机制进行建模,分析其性能。评估休眠性能的指标主要有平均能量消耗 $E(\text{energy})$ 与平均延长时间 $E(t)$ 。为了研究计数器门限值 m 与两者之间的关系,从终

端行为出发建立马尔科夫模型,如图3所示。终端行为可以用一个二维函数来描述 $\{s(t), m(t)\}$,其中随机过程 $s(t)$ 表示终端在时刻 t 所处的状态。 $s(t)='S'$ 时,表示终端处于休眠模式; $s(t)='N'$ 表示终端处于普通模式。随机过程 $m(t)$ 表示时刻 t 终端所处的休眠阶段。 $m(t)=n(0 \leq n \leq \max)$ 表示终端时刻 t 处于第 n 个休眠周期^[6]。

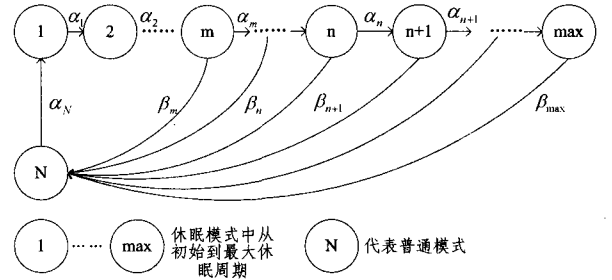


图3 计数器休眠模式的马尔科夫分析模型

假设数据帧到达终端服从接入速率为 λ (帧/秒)的泊松过程^[2]。由泊松过程定义可知,在时间 t 内接收到 k 个数据帧的概率为:

$$P\{N(s+t) - N(s) = k\} = \frac{(\lambda t)^k e^{-\lambda t}}{k!}, k=0, 1, \dots \quad (2)$$

式中, $N(s)$ 代表时刻 S 到达事件的个数, $k=0$ 时,表示在时间 t 内无数据帧传输,其概率为:

$$P\{N(s+t) - N(s) = 0\} = e^{-\lambda t} \quad (3)$$

反之,在时间 t 内监听到数据帧的概率为:

$$P\{N(s+t) + N(s) \neq 0\} = 1 - e^{-\lambda t} \quad (4)$$

每个休眠周期由一个监听窗口和一个休眠窗口组成,休眠周期的时间长度可表示为:

$$SC_n = t_n + L \quad (5)$$

在图3中, β_n 表示终端由休眠周期 n 进入普通模式的概率,其表达式为:

$$\beta_n = \begin{cases} 0, & n < m \\ \prod_{i=n-m+1}^n (1 - e^{-\lambda(t_i + L)}), & m \leq n \leq \max - 1 \\ 1, & n = \max \end{cases} \quad (6)$$

其中,1)当 $n < m$ 时,终端始终保持在休眠模式,此时进入普通模式的概率 $\beta_n = 0$;

2)当 $m \leq n \leq \max - 1$ 时,连续 m 个周期有数据到达,即进入普通模式;

3)当 $n = \max$ 时,终端最终均会由休眠模式转入普通模式,因此概率值 $\beta_n = 1$ 。

同时, α_n 表示由休眠周期 n 进入休眠周期 $n+1$ 的概率,其分布为:

$$\alpha_n = \begin{cases} 1, & 1 \leq n < m \\ 1 - \beta_n, & m \leq n \leq \max - 1 \end{cases} \quad (7)$$

由于终端通过与基站进行信令交互使其由普通模式进入休眠模式,因此由普通模式进入休眠模式的概率值 α_n 可假定为1。

令 $\pi_{i,j} = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{s(t) = i, m(t) = j\}$ ($i \in \{N, S\}, 0 \leq j \leq \max$)表示时间趋于无穷时稳定状态下取得各个休眠周期的概率 $\pi_{s,n}$ ($1 \leq n \leq \max$)以及普通模式的概率 π_N ,那么稳定状态时的概率值可以用式(8)计算^[8]:

$$\begin{cases} \pi_N + \sum_{i=1}^{\max} \pi_{S,i} = 1 \\ \pi_{S,n} = \alpha_{n-1} \pi_{n-1} \quad 1 < n \leq \max \\ \pi_{S,1} = \alpha_N \pi_N \\ \pi_N = \sum_{i=m}^{\max} \beta_i \pi_i \end{cases} \quad (8)$$

解方程组(8)可得到 $\pi_{S,n}$ ($1 \leq n \leq \max$) 以及 π_N :

$$\pi_N = \left\{ (m+1) + \sum_{j=1}^{\max-m} \prod_{i=r=1}^j [1 - \prod_{i=r}^{m+r-1} (1 - e^{-\lambda_i})] \right\}^{-1} \quad (9)$$

$$\pi_{S,n} = \left\{ \prod_{i=1}^{n-m} [1 - \prod_{i=r}^{m+r-1} (1 - e^{-\lambda_i})] \right\} \pi_N$$

$$m < n \leq \max \quad (10)$$

$$\pi_{S,n} = \pi_N \quad (n \leq m) \quad (11)$$

IEEE 802.16e 系统中,当 λ 、 m 、最大休眠窗口 t_{\max} 、最小休眠窗口 t_{\min} 和监听窗口 L 的值确定后,各个休眠周期的概率值也随之确定。由此能够计算得到评估休眠模式性能的主要参数:平均等待时间 $E(t)$ 以及平均能量消耗 $E(\text{energy})$ 。

首先分析平均等待时间 $E(t)$,考虑到泊松分布的随机性,假设数据帧在休眠周期内到达终端的时刻服从均匀分布,结合概率值 $\pi_{S,n}$ ($1 \leq n \leq \max$) 以及 π_N 得到平均等待时间 $E(t)$ 为^[3]:

$$E(t) = \sum_{i=1}^{\max} \frac{SC_i}{2} \times \pi_{S,i} + \sum_{i=1}^{\max} \frac{t_n + L}{2} \times \pi_{S,i} \quad (12)$$

平均能量消耗由监听窗口和休眠窗口能量消耗以及处于普通模式时的能量消耗组成。令 E_S 表示休眠窗口时终端的消耗功率,普通模式与监听窗口消耗功率为 E_L ,则终端的平均能量消耗 $E(\text{energy})$ 的计算公式为:

$$E(\text{energy}) = \sum_{i=1}^{\max} \left(\sum_{k=1}^i \left(\frac{L}{SC_k} \times E_L + \frac{t_k}{SC_k} \times E_S \right) \right) \times \pi_{S,i} + E_L \times \pi_N \quad (13)$$

5 仿真结果

下面对提出的休眠机制进行性能仿真,并将其与 802.16e 标准算法以及线性增长算法进行仿真比较。仿真参数为: $t_{\min} = 10\text{ms}$, $t_{\max} = 160\text{ms}$, $L = 5\text{ms}$, $E_L = 1\text{W}$, $E_S = 0.1\text{W}$ 。当 λ 由 0 到 80(帧/秒)逐渐增大时,线性增长算法^[5]、标准算法以及提出的休眠算法中平均能量消耗与平均时延的对比结果分别如图 4、图 5 所示。

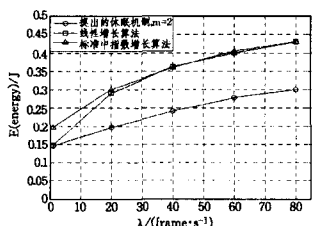


图 4 能量消耗对比

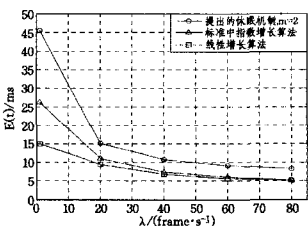


图 5 时延对比

可以看到,当 λ 取较小值,即终端处于低业务量时,采用基于计数器的休眠机制对于能量节省并没有大幅度改善。但随着 λ 的增大,终端趋于业务繁忙时,提出的休眠机制较指数增长算法与线性增长算法能量节省率提高了近 30%,但时延随之增大。其原因在于,采用提出的休眠机制时,根据式(9)一式(11)可以看到终端取得较长休眠周期的概率增大。而式(12)表示时延函数与休眠周期的时长成正比例线性关系,故随着休眠周期的增长,相应的时延变大。

为研究计数器门限值对于系统平均能量消耗与平均时延

的影响,令计数器门限值 m 分别取 2、3、4,其性能随 λ 的变化如图 6、图 7 所示。

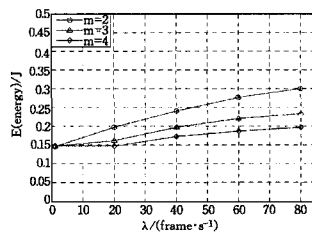


图 6 m 对能量消耗的影响

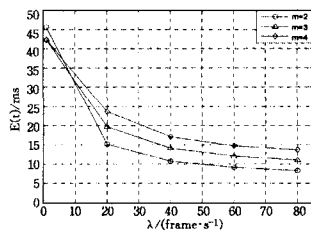


图 7 m 对时延的影响

结果表明,随着 m 值的逐渐增大,平均能量消耗逐渐减小。 $m=3$ 时,提出的休眠机制较标准算法省电率提高 45%; $m=4$ 时,其较标准算法省电率提高 53%。但相应的时延随着 m 值的逐渐增大而增大。不断增加的时延限制了计数器的门限值取值过大。但标准中规定省电类型 I 主要针对非实时连接,因此在时延可忍受范围内,以时延为代价换取能量节省。同时,休眠模式中能量节省与传输时延相矛盾,而提出的休眠机制中两者之间可以通过简单地调整计数器的门限值来达到平衡。在实际系统中,可以根据 QoS 中的时延要求对计数器门限值进行设置。

结束语 本文基于 802.16e 的休眠模式 I 能够忍受一定的时延并且终端处于监听间隔时能够与基站通信的特点,提出了一种基于业务量的自适应休眠机制。该机制有效地避免了终端在普通模式与休眠模式之间频繁的切换;延长了终端处于休眠模式的时长;同时减小了基站的信令开销。提出的休眠机制能够随着门限值的增大而将能量节省率提高,但相应地带来了时延变长,限制了计数器门限的取值。

参考文献

- [1] IEEE 802.16-2009. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks[S]. May 2009
- [2] Yang Xiao. Energy Saving Mechanism in the IEEE 802.16e Wireless MAN[J]. IEEE Communications Letters, 2005, 9(7): 595-597
- [3] Lu Shao-fei, Wang Jian-xin, Kuang Yue-juan. An efficient energy saving mechanism for sleep mode in IEEE 802.16e networks [C]// Proc. of the 6th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, 2010. Caen, France, 2010: 916-920
- [4] Cho S, Kim Y. Improving Power Savings by Using Adaptive Initial-sleep window in IEEE 802.16e[C]// Proc. of IEEE 65th VTC2007-Spring. April 2007:1321-1325
- [5] 刘利,李津生,洪佩琳. IEEE 802.16e 休眠模式算法的研究和改进[J]. 计算机学报, 2007, 30(1): 146-152
- [6] 薛建彬,朱延峰,袁占亭. 一种适配数据速率 IEEE802.16e 休眠机制算法[J]. 吉林大学学报:工学版, 2009, 39(02): 241-246
- [7] Liu En-jie, Zhang Jie, Ren Wei-li. A Counter-Driven Adaptive Sleep Mode Scheme for 802.16e Networks [C]// IEEE 73rd Vehicular Technology Conf. (VTC2011-Spring). Budapest, Hungary, May 2011: 1-5
- [8] Lei K, Tsang D H K. Performance Study of Power Saving Classes of Type I and II in IEEE 802.16e[C]// Proc. of IEEE Local Computer Networks Conference. Tampa, Florida, Nov. 2006: 20-27