

文章编号: 1673-5196(2009)01-0094-05

基于 WIMAX 网络的 IEEE802.16e PSC Type II 休眠机制

薛建彬, 袁占亭, 陈海燕, 曹明华, 贾科军

(兰州理工大学 计算机与通信学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 针对宽带移动通信中移动站短时间休眠带来的能量效率下降问题, 研究 IEEE 802.16e 休眠模式的节能机制. 为了保证实时性的同时降低能量消耗, 提出一种动态调整时间门限的方案, 通过设立动态检测时间并启发式调整休眠时间建立的休眠模式的马尔可夫链分析模型, 分析该方案对能量效率和数据包延时的影响. 通过 NS2 仿真验证所提动态算法比标准中的能量效率获得明显提高.

关键词: 休眠窗口; 检测时间; 能量效率; 平均延时; 节能机制

中图分类号: TN915.04 **文献标识码:** A

Sleep mode operation for IEEE 802.16e PSC Type II based WIMAX network

XUE Jian-bin, YUAN Zhan-ting, CHEN Hai-yan, CAO Ming-hua, JIA Ke-jun

(College of Computer and Communication, Lanzhou Univ. of Tech., Lanzhou 730050, China)

Abstract: Aimed at the problem of energy efficiency drop in broad band wireless communication with the short-time sleep, the energy-saving mechanism of the sleep operation mode was investigated for IEEE 802.16e. A dynamic algorithmic scheme for tuning the time threshold was presented in order to guarantee the realtime ability and, in the same time decrease energy consumption. By means of establishing dynamic check-time and dormant-mode Markov chain model on the basis of heuristic dormant time tuning, the influence of the latter on the energy efficiency and mean access delay of data packet. NS2 simulation result showed that, by using the dynamic algorithm proposed, a remarkable gain in energy efficiency could be achieved compared to that stipulated in the standards.

Key words: sleep windows; check time; energy efficiency; mean delay; energy-saving mechanism

为了节省电池供电的移动站 (mobile station, MS) 的能量资源, 并提高空中资源的使用效率, IEEE 802.16e^[1] 规范中对主动提供服务 (unsolicited grant service, UGS)、实时轮询业务 (real time polling service, RT-PS) 采用了接收-休眠的 ON-OFF 方式的节能机制. 这种节能机制的设置主要依据是从网络到达基站 (base station, BS) 的数据速率低于由 BS 向 MS 传输的数据速率, 因此 BS 可以采用时分复用方式分时转发数据, 在其他时间 MS 休眠以节省其有限的能量资源. 由于 MS 在固定时隙接收下行数据, 在其他时间保持休眠, 减少了空闲等

待时间的能量消耗.

但是由于实际 WIMAX 网络终端设备支持同时运行多种业务, 如 IPTV、语音以及实时低速图像等, 但是协议并未给出具体调度策略, 因此存在接收高速实时业务时, 频繁进出休眠模式的情况. 而文献[2]的研究表明, 模式转换的能量损耗是不容忽视的. 当 MS 工作于较高负载时, 由于使用休眠机制而在频繁的模式转换中消耗了有限的能量资源, 导致此节能机制在一定范围的数据速率时并不是有效的. 因此, 有必要确定机制对于负载的有效区. 另外, 由于标准没有给出具体的休眠参数设置方法, 目前许多文献主要集中在非实时业务的初始休眠窗口的具体参数设置、休眠中数据包的到达时间和清醒后新包在不同接收期到达时的延时分析^[3-11]. 对实时业务的研究还比较欠缺.

收稿日期: 2008-07-07

基金项目: 国家自然科学基金 (30670529), “十一五” 国家科技支撑计划项目 (2006BAF01A21), 甘肃省自然科学基金 (2008GS00557)

作者简介: 薛建彬 (1973-), 男, 甘肃兰州人, 博士生, 讲师.

本文通过启发式休眠时间参数和设立动态空闲时间的策略,建立马尔可夫分析模型,研究 MS 工作在此机制中的工作行为,分析此算法对 MS 的能量效率和数据包的平均延时的影响,提出一种适配系统实时负载的动态调整时间门限设置的节能方案,最后用 NS² 进行仿真验证.

1 分析模型

由于上行链路的能量和延时独立于休眠模式,因此主要分析下行实时业务在休眠机制中的工作行为.

在 Type II 中,由于 MS 采用接收-休眠的循环方式(即 ON-OFF 模型)接收数据包,而且单次实时通信时休眠窗口和接收窗口都采用恒定大小窗口,因此监听期不是消息的接收期而是数据接收期,其工作原理和语音通信的 PCM 分时处理一致.但是,由于实际 WIMAX 网络终端设备支持同时运行多种业务,如果 MS 采用 ON-OFF 方式接收数据时,有新的以此 MS 为目标的实时业务从网络到达 BS,此时要求 MS 能够动态调整休眠时间与接收时间的比例.另外,由于较高负载时 MS 处于休眠状态的时间太短,此时频繁的模式转换消耗的能量可能超过休眠时节省的能量^[1].本文建议设置动态休眠时间和检测时间以空闲较多的空中接口资源和解决模式转换中出现的反能量节省问题.该算法的目的是如果负载较高时,由于模式转换导致不能节省更多 MS 有限的终端能量,可以采用空闲状态代替进入休眠机制,而轻负载下又可以正常启动休眠模式.

由于 WIMAX 协议在 MAC 层时分双工成帧是自适应的,即上下行带宽可以根据数据传输的需要自适应调整,因此下行链路调度中的帧时长并不是固定的.确定帧时长后,BS 根据从网络经由 BS 到各个 MS 的数据速率分配各个有数据转交的移动站点的接收时隙数和时隙号,然后在调度模式通知 MS,MS 根据 BS 的管理消息中的相关参数获得接收数据的时隙数和时隙号以及休眠参数.图 1 为有 3 个激活 MS 的下行带宽的分配示意图.

图 1 中,调度模式时所有 MS 清醒接收调度指示,由于 WIMAX 网络的物理层的可选技术有 SCa,OFDM 以及 OFDMA 等方式,因此 BS 可以给多个 MS 同时交付数据.如第一个帧周期中 A、B 两站根据 BS 的调度指示在相应的时隙接收数据,接收完以后启动休眠模式,而 C 站由于没有数据到达而直接休眠;B 站由于是单一业务,因此接收窗口固定,而在 A 站接收数据时又有新的业务从网络到

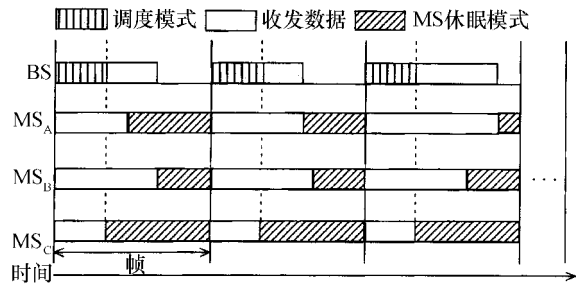


图 1 下行带宽分配示意图

达,因此第二、第三周期 A 站动态调整了它的接收、休眠时间比例.

针对较高负载 MS 在频繁的模式转换中出现的问题^[1],本文建议采用设置空闲状态的动态算法解决此问题,动态算法的关键是计算进入休眠模式是否能够节省能量,如果为真则启动休眠机制,否则进入空闲状态.即 MS 接收完数据后立即进入空闲检测状态,而处于此状态的时长和休眠窗口的大小都是动态调整的,如果时长为 0,则此状态仅仅是一个吸收状态,如果不为 0,则说明此负载下的 MS 进入休眠模式不能节省更多的能量,此时的休眠时间应该设为 0.图 2 为动态调整参数的 IEEE 802.16e 休眠模式示意图.

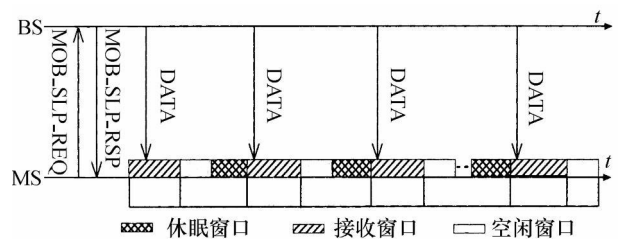


图 2 动态调整参数的 IEEE 802.16e 休眠模式示意图

Fig. 2 Schematic diagram of sleep mode operation for IEEE 802.16e based dynamic parameter adjustment

为了分析建议的算法性能,假设数据包从网络到达 BS 的过程服从速率为 λ 的泊松过程,服务时间服从概率密度函数为 $v(t)$ 的一般分布, P_{ws} 为 MS 在休眠状态和清醒状态消耗的功率差,休眠、空闲检测和接收数据的时间分别为 T_s 、 τ' 和 T_w ,则一帧的总时长为 $T_f = T_s + \tau' + T_w$,其中 $T_w = \lambda E[v] T_f$. 设 τ 为稳定状态下使用休眠模式节省的能量与从休眠模式和清醒模式相互转换时功耗平衡的时间点,则

$$\tau = \arg \min_{T_s} | P_{ws}(1 - \lambda E[v]) T_f - E_{switch} | \quad (1)$$

显然,由式(1)可以计算出 τ 为 5 ms,即当休眠时间不超过 5 ms 时,进入休眠模式并不能达到节省更多

MS 能量的目的,可作为动态设置空闲时间的依据,它与业务到达率 λ 密切相关,当数据到达率大于 $\lambda(\tau)$ 时检测时间置为 5 ms,否则检测时间为 0.

根据以上分析,MS 工作在节能机制下的行为用一个 MS 在时刻 t 所处状态的随机过程的一维随机函数 $\{s(t)\}$ 描述, $s(t) = S_{II}$ 即为 MS 在休眠模式, $s(t) = L_{II}$ 意味着 MS 处于接收数据状态, $s(t) = D_{II}$ 表示 MS 正在检测状态.建立的分析模型的状态转移图见图 3.其中 Ω 表示在检测状态 τ 时间没有数据到达时从状态 D_{II} 到状态 S_{II} 的转移概率,则

$$\Omega = e^{-\lambda\tau} \quad (2)$$

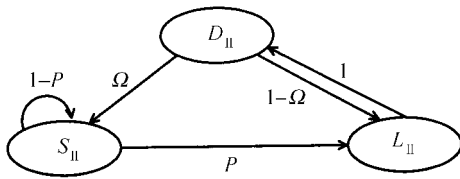


图 3 动态调整参数的 IEEE 802.16e 休眠模式 PSC Type II 的马尔可夫链模型

Fig.3 Markov chain model of sleep mode operation PSC Type II of IEEE 802.16e with dynamic parameter tuning

假设 MS 能在 T_w 时间完成整个 T_f 帧时长从网络到达 BS 的数据(包括休眠期和接收期到达的数据),即包括休眠期间到达的数据包和接收这些数据包时从网络带大的新包.用 $1-P$ 表示 MS 休眠状态内有数据到达时从状态 S_{II} 到状态 L_{II} 的转移概率,设 BS 为每个 MS 分配的下行数据包缓存尺寸(包容量)为 $(1/E[v] - \lambda) T_w$,由于是泊松到达,则 MS 保持在休眠状态的概率 $1-P$ 为

$$1-P = \text{Prob}\left\{j \leq (1/E[v] - \lambda) T_w\right\} = \frac{(\lambda T_f)^j e^{-\lambda T_f}}{j! (1 - e^{-\lambda T_f})} \quad (3)$$

式中: j 为从网络到达 BS 的数据包数,显然,状态转移的条件是休眠状态到达的数据包 j 达到 T_w 时间完成的数据包的最大值 $T_w/E[v]$,如果未达到则继续休眠.从以上分析来看,如果负载较高时,存在短时间抵达的包数达到服务的最大值 $T_w/E[v]$,此时状态转换发生导致的能量损耗可能超过休眠时节省的能量.

图 3 所示动态调整参数 Type II 的稳定状态的状态概率为

$$\begin{cases} \pi_{S_{II}} = \pi_{S_{II}} (1-P) + \pi_{D_{II}} \Omega \\ \pi_{D_{II}} = \pi_{L_{II}} \\ \pi_{L_{II}} = \pi_{S_{II}} P + \pi_{D_{II}} (1-\Omega) \\ \pi_{S_{II}} + \pi_{D_{II}} + \pi_{L_{II}} = 1 \end{cases} \quad (4)$$

迭代计算式(4),得到 3 个稳定状态的状态概率为

$$\begin{cases} \pi_{S_{II}} = \frac{1}{(1+2Pe^{\lambda\tau})} \\ \pi_{L_{II}} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2(1+2Pe^{\lambda\tau})} \\ \pi_{D_{II}} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2(1+2Pe^{\lambda\tau})} \end{cases} \quad (5)$$

2 动态节能机制的性能分析

下面从能量和延时两个方面分析所提动态算法的性能.提升能量效率是算法的目的,保证算法的延时要求是此算法的前提.

本文提出的设立动态检测时间并启发式调整休眠时间的目的是尽可能节省更多 MS 的能量,而要获得算法在提高能量效率的同时是否达到了实时性要求,必须获得能量效率与平均延时在新算法中的性能关系.

2.1 节能效率分析

动态节能机制下 MS 的能耗主要由 3 部分组成:清醒状态的功耗 P_w (接收数据、较高负载时动态空闲时间)、休眠模式休眠期的功耗 P_s 以及两种模式相互转换时产生的能耗 E_s .其中,有效功耗为 MS 接收数据时消耗的功率.根据以上分析,MS 能量效率为接收数据时消耗的有效功率与总消耗功率的比值.而各稳定状态概率和状态的停留时间是由负载决定的,则动态算法中能量效率的表达式为

$$\eta = [P_w \lambda E[v] T_f \pi_{L_{II}}] / [P_s \left\{ (1 - \lambda E[v]) T_f - \right\} \pi_{S_{II}} + P_w \left\{ \lambda E[v] T_f \pi_{L_{II}} + \pi_{D_{II}} \right\}] \quad (6)$$

注意到式(6)中,能量效率 η 越低,对应的负载越小,此时 MS 休眠的时间占总周期的时间越大;负载越大,MS 有效耗能时间越长,能效 η 越接近 1(注意:空闲期不属于有效耗能时间).

为了与仿真数据做对比分析和更准确地分析建议的算法对能量效率的影响,通过分析 MS 在整个负载范围内的行为,把理论计算所获取的能量效率数据点画于图 4 中,其中 $\rho = \lambda E[v] = 0.5$ 时加入 5 ms 的检测时间.

观察到图 4 中休眠时间的变化对能量效率的影响在不同负载下有较大差异.低负载时能量效率随着休眠窗口的增加而增加,这是因为此时数据包的到达太稀疏,MS 可以在较短的时间完成数据的接收,因此休眠窗口的增加使得休眠和接收时间比例逐渐匹配,使得能量效率明显增加;负载为 0.3 时,能效随着休眠窗口增加到 60 ms 后下降,分析认为能效增加原因与低负载相同,而下降是由于比匹配

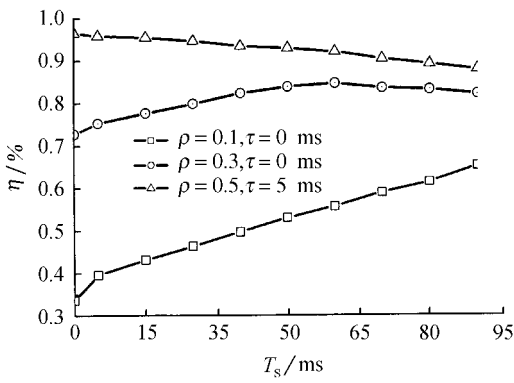


图 4 不同休眠窗口时的能量效率

Fig. 4 Energy efficiency for different sleep windows

休眠时间更大的休眠窗口要求更多的接收数据时间,因此导致能量效率降低,并且休眠窗口越大能量效率越低;高负载时,能效随着休眠窗口的增加而缓慢降低,这是由于当检测时间为 0 时,MS 接收完缓存于 BS 中的数据后立即启动休眠模式,高数据包到达率促使 MS 在短时间从休眠模式清醒,启动休眠模式导致较低的能效,建议的算法在此负载时的动态设置检测时间的结果是 5 ms,此时休眠窗口设置越大,由于休眠和转换能量导致能效越低,但由于状态概率较小的原因,影响也较小(实际上休眠窗口一般不会超过接收时间的 2 倍,因此较大的休眠窗口在实际系统中并不会出现),因此动态设置适配的休眠窗口至关重要。

2.2 平均逗留时间

本文中数据包的平均逗留时间指的是数据包在 BS 中缓存的平均时间.设在第 i 个休眠期 BS 为 MS 缓存了 j 个数据包,当 MS 服务这 j 个数据包时可能有新的数据包到达,这些包由于必须排队于 j 个数据包之后,因此延时应该与 j 个缓存的数据包一起计算.由于本文研究的是休眠机制起作用的负载范围,对于重负载下的排队延时,不是本文研究范围.则休眠模式时到达的数据包在 BS 中的平均逗留时间为

$$((1 - \lambda E[v])T_r - \tau + (j + 1)E[v])/2 \quad (7)$$

综上所述,在第 i 个服务状态所有数据包的平均延时为

$$T_{DL} = \frac{1}{j + \lambda^2 E[v]T_r} \times \left[\frac{j(1 - \lambda E[v])T_r - \tau + (j + 1)E[v]}{2} + \lambda^2 E[v]T_r \frac{(\lambda^2 E[v]T_r + 1)E[v]}{2} \right] \quad (8)$$

因此所有数据包的平均延时为

$$T_D = \pi_{s_{II}} T_{DL} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{(\lambda((1 - \lambda E[v])T_r - \tau))^j}{j!} \times$$

$$e^{-\lambda((1 - \lambda E[v])T_r - \tau)} / \pi_{s_{II}} \quad (9)$$

其中: $N = (1/E[v] - \lambda)T_w$.

为了提高无线频率资源的利用效率,降低 MS 能量消耗,BS 采用时分复用方式转交数据.但是 WIMAX 网络采用自适应调制技术,信道条件越好的码流,调制阶数越高,接口速率越高,BS 转交数据的时间越短,MS 休眠的时间越长,数据包的延时变高.因此休眠时间必须保持在一定的范围内,才能满足 MS 的 QoS 要求.图 5 为不同休眠窗口时理论分析的平均延时数据.

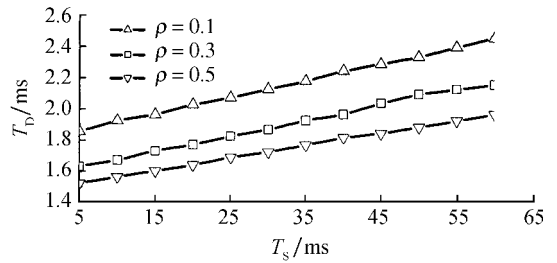


图 5 不同休眠窗口时的平均延时

Fig. 5 Mean delay for different versus sleep windows

图 5 中的数值为休眠窗口不大于 2 倍接收窗口的理论分析数据,其平均延时随着休眠窗口增加而增加,但是与负载的变化趋势相反,这是因为休眠时间的增加必然导致数据包在 BS 缓存时间的延长,负载越小每包的延时将越大.同时休眠窗口在低负载范围对延时的影响小于高负载范围.从延时大小判断,动态调整休眠窗口和接收时间的算法对延时的影响较小,这主要是因为休眠窗口越大,对休眠时间从网络到达 BS 的数据包的影响越大,越小的负载到达的包越稀疏.因此动态调整休眠和接收的时间比例在理论上不会对 MS 的 QoS 产生引起服务质量变化的影响。

3 性能评估和仿真实验

基于对上述理论结果分析的基础上,本文对设立动态空闲时间和启发式休眠时间参数的设置算法进行仿真实验.考察新算法在功耗性能上的改进和对数据包平均延时的影响.下面实验中不考虑数据包无线传输时间和 MS 处理的时间,仅考察数据包在 BS 中的平均逗留时间和算法的能量效率.

为了评价本文提出的启发式算法的性能,用表 1 中的参数,以 NS2 为工具仿真.仿真时间为 50 h,以 10 个不同种子的仿真结果取平均值获得每个点.分析中不但与理论分析结果作了对比,也与原标准的性能作了对比,仿真结果见图 6 和图 7.

图 6 中,负载越小,建议的算法的性能越突出,

表1 分析和仿真参数

Tab-1 Parameters of analysis and simulation

参数	数值
物理层休眠窗口可选离散最小值/ms	10
接收时间 $E[v]/ms$	5
接收功耗 P_w/W	1
休眠功耗 P_s/W	0.05
状态转换能耗 E_s/J	0.001
帧时隙/ms	100

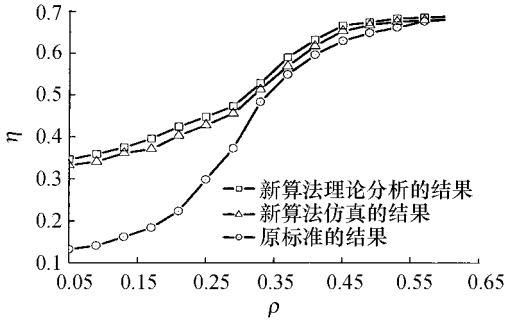


图6 动态调整休眠窗口的能量效率

Fig-6 Energy efficiency versus traffic load for dynamic tuning of sleep window

这是由于当包到达率较小时,动态算法可以适配一个较小的接收时间和一个较大的休眠窗口,而标准的配置一般认为都是固定配置,此时由于标准空闲时间较大,能量消耗也就比较大,而建议的算法虽然休眠时间变大了,但是由于休眠时的能耗较小,总体上能量效率提升了.原标准,所提算法理论分析和仿真分析之间能量效率关系中,理论分析的性能比仿真结果普遍表现突出,分析认为理论分析数据比较理想,因此其计算结果优于仿真结果.另外,由于动态算法加入了动态检测时间,避免了短时间休眠带来的能量效率下降的问题.

图7为所提算法与IEEE 802.16e的平均延时的对比情况,随着数据速率的参加,新算法的延时从高于标准到逐渐一致.显然低负载时,由于新算法主要追求降低能耗而导致平均延时略有上升,另外由于分析的数据比较理想,理论分析延时低于仿真分析结果.

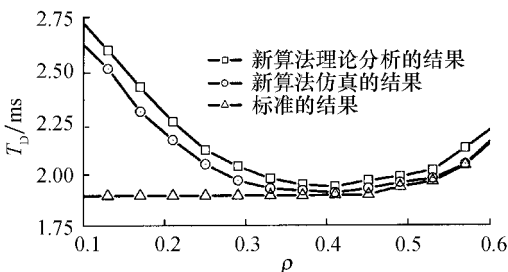


图7 动态调整休眠窗口的平均延时

Fig-7 Meantime delay versus traffic load for dynamic tuning of sleep window

4 结论

本文针对宽带移动通信中移动站的能量节省并提高其使用效率问题,研究了IEEE 802.16e休眠模式TYPE II的节能机制.为了保证实时业务实时性的同时降低MS的能量消耗,提出一种适配系统业务负载的动态调整时间门限的方案.通过设立动态检测时间并启发式调整休眠时间建立休眠模式的马尔可夫链分析模型,分析了对能量效率和数据包延时的影响.NS2仿真结果验证了所提动态算法比标准中的能量效率获得了明显提高,克服了短时间休眠带来的能量效率下降问题.

参考文献:

- [1] IEEE802.16e-2006. IEEE standard for local and metropolitan area networks, Part 16, air interface for broadband wireless access systems C amendment for physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed bands [S/OL]. 2006-10-1. <http://ieeexplore.ieee.org/ISOL/standardstoc.jsp?punumber=10438>.
- [2] YE W, HEIDEMANN J, ESTRIN D. Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks [J]. IEEE/ACM Trans Networking, 2004, 12(3): 493-506.
- [3] NIU Z S, ZHU Y F, BENETIS V. A phase-type based Markov chain model for IEEE 802.16e sleep mode and its performance analysis [C]// The Institute of Electrical and Electronics Engineers. 20th International Teletraffic Congress. Ottawa: IEEE, 2007: 17-21.
- [4] XIAO J F, ZOU S H, REN B, et al. An enhanced energy saving mechanism in IEEE 802.16e [C]// IEEE GLOBECOM 2006. California: [s. n.], 2006: 27.
- [5] LEI K, TSANG D H K. Performance study of power saving classes of Type I and II in IEEE 802.16e [J]. IEEE Communications Letters, 1999, 3(3): 63-65.
- [6] XIAO Y. Energy saving mechanism in the IEEE 802.16e wireless MAN [J]. IEEE Communications Letters, 2005, 9: 595-597.
- [7] ZHANG Y, FUJISE M. Energy management in the IEEE 802.16e MAC [J]. IEEE Communications Letters, 2006, 10(4): 311-313.
- [8] FALLI K, VARADHAN K. Ns notes and documentation [EB/OL]. 2008-6-10. <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns/>.
- [9] ZHU S Q, WANG T L. Enhanced power efficient sleep mode operation for IEEE 802.16e based WiMAX [C]// The Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Mobile WiMAX '07. Orlando, IEEE, 2007: 25-29.
- [10] 薛建彬,袁占亭.一种新颖的IEEE 802.16e休眠机制 [J].兰州理工大学学报, 2008, 34(2): 91-95.
- [11] KOEN L, HALKES G. Energy-efficient medium access control [EB/OL]. 2007-09-20. <http://www.isa-ewi.tudelft.nl/koen/papers/MAC-chapter.pdf>.