

文章编号:1001-9081(2008)08-1959-03

基于 IEEE 802.16e 的睡眠模式的改进机制

曲宏伟,张春业,张燕,赵莉

(山东大学信息科学与工程学院,济南 250100)

(quhongwei@mail.sdu.edu.cn)

摘要:IEEE 802.16e 标准中使用了睡眠模式以达到降低移动台的能量消耗和基站接口资源的使用。介绍了 IEEE 802.16e 标准的睡眠模式的特性,然后给出一种基于可变睡眠周期能量的改进机制,并在四种实际模型下与标准机制进行比较。从仿真结果可以看出改进机制比标准机制能更有效地节约能量,最后研究了关键参数对于改进机制性能的影响。

关键词:IEEE 802.16e;睡眠模式;能量节约

中图分类号:TP393 **文献标志码:**A

Improved sleep mode mechanism based on IEEE 802.16e

QU Hong-wei, ZHANG Chun-ye, ZHANG Yan, ZHAO Li

(School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan Shandong 250100, China)

Abstract: In order to minimize the MS energy consumption and decrease the occupation of interface resources in BS, the sleep mode was introduced into the standard IEEE 802.16e. We characterized the standardized sleep mode in IEEE 802.16e, and then we gave an improved mechanism based on variable sleep interval energy and compared with the standard mechanism under four actual models. Through the simulation we could see the performance of the improved mechanism is better than the standard mechanism in energy saving. At last we studied the impact of key parameters on the improved mechanism performance.

Key words: IEEE 802.16e; sleep mode; energy saving

0 引言

2005 年 12 月,IEEE 工作组发布了最新的支持移动性的版本 IEEE 802.16e^[1]。IEEE 802.16e 标准在 IEEE 802.16-2004^[2] 标准的基础上提供了改进,可以支持在运行的车辆速度下的移动台的接入从而形成了一个可以支持固定和移动宽带无线接入的系统,它填补了宽带无线接入网络和高速移动蜂窝网络之间的空白。

由于 IEEE 802.16e 所追求的移动性特点,能量管理就会变得十分重要,因为移动台所使用的电池在重新充电前的能量是有限的。为了有效地管理能量,IEEE 802.16e 定义了睡眠模式的操作。睡眠模式是一种状态,在这种状态下移动台脱离了基站的空中接口服务。在基站看来此时的移动台没有进行下行(从基站到移动台)或者上行(从移动台到基站)的操作。睡眠模式可以减少移动台能量的使用并且降低基站空中接口资源的使用。

1 IEEE 802.16e 睡眠模式

图 1 给出了在基站(BS)和移动台(MS)之间的睡眠模式信息交换。进入睡眠模式前,移动台发送一个请求信息 MOB-SLP-REQ 给基站来征得转入睡眠模式的允许。基站将会返回一个信息 MOB-SLP-RSP。这个返回信息包括三个参数,分别是初始睡眠周期(t_{min})、最大睡眠周期(t_{max})和监听

周期(L)。在接收到 MOB-SLP-RSP 后,移动台进入睡眠模式。

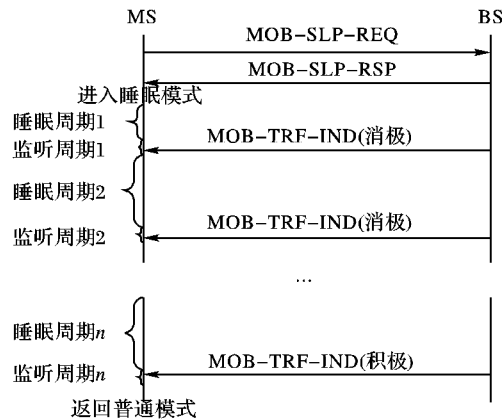


图 1 IEEE 802.16e 睡眠模式操作

进入睡眠模式后,第一个睡眠周期 t_1 大小等于 t_{min} ,在第一个睡眠周期后,移动台进入监听周期,监听来自基站的 MOB-TRF-IND。这个消息指示了在睡眠周期 t_1 期间,是否有要传递给移动台的数据到达,如果 MOB-TRF-IND 包含了一个消极的指示,那么移动台就在监听周期后继续下一个睡眠周期。否则,也就是 MOB-TRF-IND 包含了一个积极的指示,则移动台将返回普通模式。

如果移动台继续睡眠模式,下一个睡眠周期将从前一个监听周期的结束时刻开始,并且周期大小是前一个睡眠周期的 2 倍。只要睡眠周期的大小没有达到 t_{max} 这个过程将循环

收稿日期:2007-12-21;修回日期:2008-02-18。

作者简介:曲宏伟(1982-),男,山东威海人,硕士研究生,主要研究方向:Wimax,802.22;张春业(1951-),男,山东济南人,副教授,主要研究方向:微波通信、无线局域网;张燕(1984-),女,山东潍坊人,硕士研究生,主要研究方向:宽带无线接入;赵莉(1982-),女,山东东营人,硕士研究生,主要研究方向:宽带无线接入。

进行。如果睡眠周期达到了 t_{max} ，则睡眠周期大小将保持 t_{max} 。也就是说，第 n 个睡眠周期的大小将是：

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

2 基于可变睡眠周期能量的改进机制

在 IEEE 802.16e 标准的睡眠模式中，睡眠周期的单位时间能量消耗保持固定值 E_s 不变，但在实际情况中， E_s 随着时间的推移可以通过物理设备的调整逐步降低，为此给出一个可变睡眠周期能量的机制，其中在第 n 个睡眠周期的单位时间能量消耗满足式(2)：

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

其中： E_s 是标准机制的单位时间能量消耗值， t_n 是第 n 个睡眠周期的大小，由式(1)可得 k 为调整参数， L 是监听周期大小。

通过式(2)可以看出，改进机制可以随着时间的推移逐步降低睡眠周期的能量消耗，从而可以节省更多的能量，达到延长移动台工作时间的目的。

3 睡眠模式下的能量消耗分析

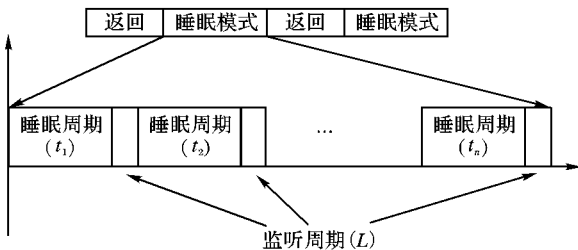


图2 IEEE 802.16e睡眠模式和返回模式

当基站有下行帧要传递给移动台或者移动台有上行帧需要传送时，移动台从睡眠模式返回到正常模式。如果在移动台进入睡眠周期后有一个下行帧到达基站时，移动台并不是马上返回到正常模式，而是完成当前的睡眠周期，然后进入监听周期。在监听周期移动台监听来自基站的指令，如果接收到一个有下行帧到达的指令后，那么就返回正常模式。如果在睡眠模式下移动台有一个上行帧到达，那么它就会立刻停止睡眠，返回正常模式。

假设下行帧和上行帧的到达过程服从泊松分布，平均到达速率分别是 λ_d 和 λ_u 。那么到达时间间隔将服从均值为 $1/\lambda_d$ 和 $1/\lambda_u$ 的指数分布^[3]。

在睡眠模式下，下行和上行帧的传送可归类为四种情况。

第一种情况：在第 n 个睡眠周期时有一个上行帧到达，并且从进入睡眠模式到第 n 个周期没有下行帧到达基站（如图3所示）。

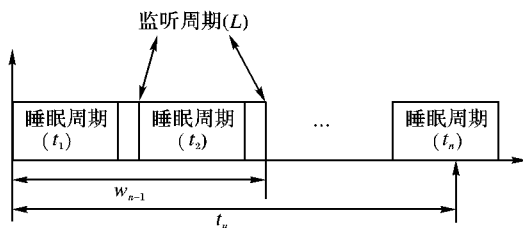


图3 上行帧在睡眠周期到达

图3中 t_1, t_2, \dots, t_n 对应第 $1, 2, \dots, n$ 个睡眠周期并满足

$w_{n-1} < t_u < w_{n-1} + t_n$ ($w_n = \sum_{j=1}^n (t_j + L)$)，那么一个上行帧到达移动台的平均时间就可以表示成如下形式：

$$t_{u,avg} = \frac{\int_{w_{n-1}}^{w_{n-1}+t_n} x \lambda_u e^{-\lambda_u x} dx}{\int_{w_{n-1}}^{w_{n-1}+t_n} \lambda_u e^{-\lambda_u x} dx} = \frac{(w_{n-1} + 1/\lambda_u)(1 - e^{-\lambda_u t_n}) - t_n e^{-\lambda_u t_n}}{1 - e^{-\lambda_u t_n}} \quad (3)$$

移动台处于睡眠模式下的平均能量消耗如下 (E_s 和 E_L 分别为单位睡眠和监听能量)：

$$E_n^1 = (t_{u,avg} - (n-1)L)E_s + (n-1)LE_L \quad (4)$$

在第 n 个睡眠周期有一个上行帧的概率为：

$$P(w_{n-1} < t_u < w_{n-1} + t_n) = \int_0^{w_{n-1}+t_n} \lambda_u e^{-\lambda_u x} dx - \int_0^{w_{n-1}} \lambda_u e^{-\lambda_u x} dx = e^{-w_{n-1}\lambda_u} [1 - e^{-t_n\lambda_u}] \quad (5)$$

在第 n 个睡眠周期有上行帧到达且没有下行帧到达 (e_j 表示下行帧到达) 概率为：

$$\phi_n^1 = P(w_{n-1} < t_u < w_{n-1} + t_n) \cdot P(\overline{e_1}, \overline{e_2}, \dots, \overline{e_{n-1}}, \overline{e_{w_{n-1}-L} < t < t_u}) = (e^{-w_{n-1}(\lambda_u + \lambda_d)}) [1 - e^{-t_n\lambda_u}] [e^{-\lambda_d(t_u - w_{n-1} - L)}] \quad (6)$$

第二种情况：在第 n 个睡眠周期时有一个下行帧到达，并且从进入睡眠模式到第 n 个周期没有上行帧到达基站（如图4所示）。

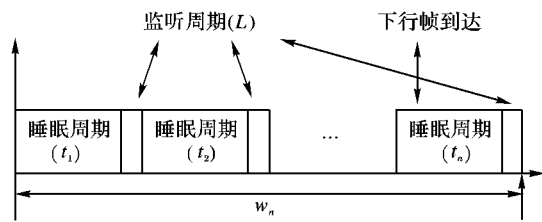


图4 下行帧在睡眠周期到达

移动台处于睡眠模式下的平均能量消耗：

$$E_n^2 = \sum_{j=1}^n t_j E_s + n L E_L \quad (7)$$

在第 n 个睡眠周期有一个下行帧到达且没有上行帧到达的概率为：

$$\phi_n^2 = P(t_u > w_{n-1} + t_n) \cdot P(\overline{e_1}, \overline{e_2}, \dots, \overline{e_{n-1}}, e_n) = (e^{-t_n\lambda_d}) e^{-w_{n-1}(\lambda_u + \lambda_d)} [1 - e^{-\lambda_d(t_n+L)}] \quad (8)$$

第三种情况：在第 n 个睡眠周期时有一个上行帧到达，并且第 n 个周期有一个下行帧到达基站（如图5所示）。

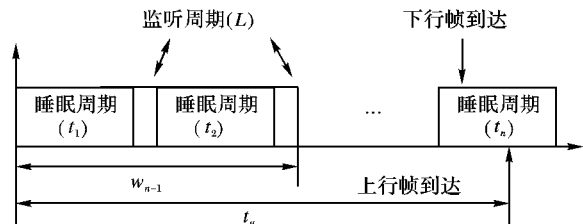


图5 上行帧和下行帧在睡眠周期到达

此时上行帧到达移动台的平均时间为：

$$t_{u,avg} = \frac{\int_{w_{n-1}}^{w_{n-1}+t_n} x \lambda_u e^{-\lambda_u x} dx}{\int_{w_{n-1}}^{w_{n-1}+t_n} \lambda_u e^{-\lambda_u x} dx} =$$

$$\frac{(w_{n-1} + 1/\lambda_u)(1 - e^{-\lambda_u w_n}) - t_n e^{-\lambda_u w_n}}{1 - e^{-\lambda_u w_n}} \quad (9)$$

移动台处于睡眠模式下的平均能量消耗如下:

$$E_n^3 = (t_{u,avg} - (n-1)L)E_s + (n-1)LE_L \quad (10)$$

在第 n 个睡眠周期有一个上行帧的概率为:

$$P(w_{n-1} < t_u < w_{n-1} + t_n) = \int_0^{w_{n-1}+t_n} \lambda_u e^{-\lambda_u x} dx - \int_0^{w_{n-1}} \lambda_u e^{-\lambda_u x} dx = e^{-w_{n-1}\lambda_u} [1 - e^{-t_n\lambda_u}] \quad (11)$$

在第 n 个睡眠周期有一个上行帧且有下行帧到达的概率为:

$$\begin{aligned} \phi_n^3 &= P(w_{n-1} < t_u < w_{n-1} + t_n) \cdot \\ &P(e_1, e_2, \dots, e_{n-1}, e_{w_{n-1}-L} < t < t_u) = \\ &(e^{-w_{n-1}(\lambda_u + \lambda_d)}) [1 - e^{-t_n\lambda_u}] [1 - e^{-\lambda_d(t_u - w_{n-1} - L)}] \end{aligned} \quad (12)$$

第四种情况:在第 n 个监听周期时有一个上行帧到达,并且从进入睡眠模式到第 n 个周期没有下行帧到达基站。

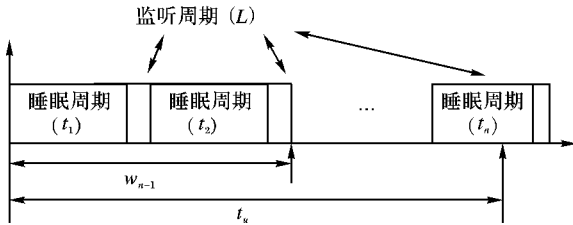


图 6 上行帧在监听周期到达

此时上行帧到达移动台的平均时间为:

$$t_{u,avg} = \frac{\int_{w_n-L}^{w_n} x \lambda_u e^{-\lambda_u x} dx}{\int_{w_n-L}^{w_n} \lambda_u e^{-\lambda_u x} dx} = \frac{(w_n + 1/\lambda_u)(e^{\lambda_u L} - 1) - Le^{-\lambda_u L}}{e^{\lambda_u L} - 1} \quad (13)$$

移动台处于睡眠模式下的平均能量消耗如下:

$$E_n^4 = \sum_{j=1}^n t_j E_s + [t_{u,avg} - \sum_{j=1}^n t_j] E_L \quad (14)$$

第 n 个监听周期有一个上行帧且没有下行帧到达的概率:

$$\begin{aligned} \phi_n^4 &= P(w_n - L < t_u < w_n) \cdot P(e_1, e_2, \dots, e_{n-1}, e_n) = \\ &(e^{-w_n(\lambda_u + \lambda_d)}) (e^{\lambda_u L} - 1) \end{aligned} \quad (15)$$

综合上述 4 种情况可得在睡眠模式下总的能量消耗为:

$$E = \sum_{n=1}^{+\infty} (\phi_n^1 E_n^1 + \phi_n^2 E_n^2 + \phi_n^3 E_n^3 + \phi_n^4 E_n^4) \quad (16)$$

4 仿真分析

基于上述所给的实际模型进行仿真,将本文提出的基于可变睡眠周期能量的改进机制与 IEEE 802.16e 的标准机制进行比较,最终得到两种机制的性能对比曲线,如图 7 和图 8 所示。在仿真过程中使用的具体参数如下:

$$\begin{aligned} k &= 0.001; L = 1; \\ t_{\min} &= 1; t_{\max} = 1024; \\ E_s &= 50(\text{mw}); E_L = 170(\text{mw}); \end{aligned}$$

$$C = \frac{\lambda_u}{\lambda_d} = 4, \lambda = \lambda_u + \lambda_d, 0 < \lambda \leq 0.5。$$

图 7 给出了标准机制与改进机制的能量消耗对比情况,从中可以看出由于采用可变的睡眠周期能量,可以动态地调

整睡眠周期的能量消耗,从而降低了总的能量消耗,能量节约百分比如图 8 所示。

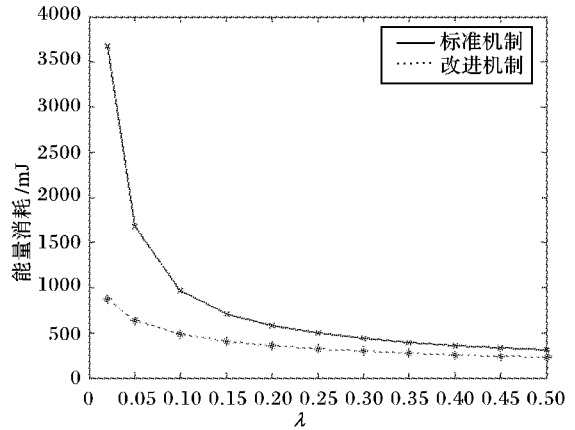


图 7 标准机制与改进机制能量对比

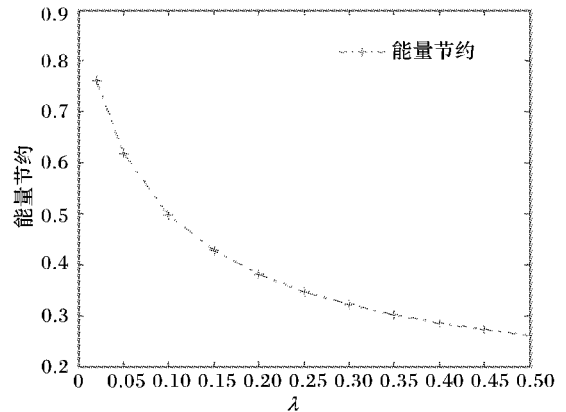


图 8 能量节约百分比

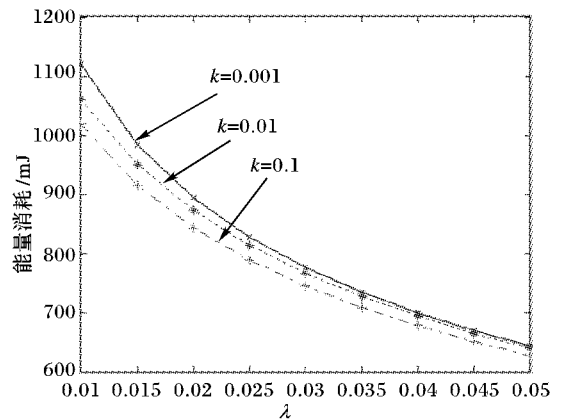


图 9 不同 k 值的能量消耗对比

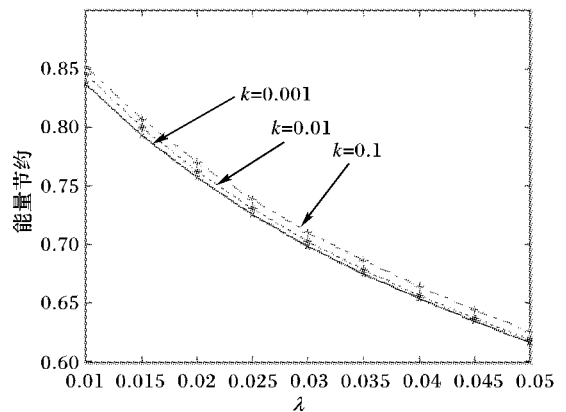


图 10 不同 k 值的能量节约百分比对比

用户及其数目的影响,假定所求的信息符号的所在时间间隔为 $n = 40$,几何信噪比 $GSNR = 20$ dB,设定不同的用户个数 K ,每个用户个数 K 值下进行 20 次独立实验,分别用 R-LP-SS、LP-SS、SS 三种算法进行迭代,利用获得的 $M_{d-opt}(n)$,求取不同用户个数 K 下的期望用户信息符号的归一化误码率曲线如图 4 所示。可以看出相同用户个数 K 下的 R-LP-SS 算法的 BER 最低。

5 结语

α -稳定分布可以更好地描述实际应用中遇到的具有显著脉冲特性的随机信号和噪声。与其他统计模型不同, α 稳定分布没有统一闭式的概率密度函数,其二阶及二阶以上统计量均不存在。针对系统中存在独立 $S\alpha S$ 噪声,本文提出一种基于最小 p 范数准则的递归多用户检测算法,并利用韧性函数进行了算法的韧性改进与渐近特性分析。在计算机模拟实验中将盲自适应多用户检测问题化为状态空间模型并利用新算法进行仿真实验,结果表明,这种算法是一种在 $S\alpha S$ 分布噪声条件下具有良好韧性的多用户检测方法。

参考文献:

- [1] NIKIAS C L, SHAO M. Signal processing with alpha-stable distributions and applications [M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1995.
- [2] SHAO M, NIKIAS C L. Signal Processing with fractional lower order moments stable processes and their applications [J]. Proceeding of IEEE, 1993, 81(7): 986 - 1010.
- [3] SAMORODNITSKY G, TAQQU M S. Stable non-gaussian random process stochastic models with infinite variance [M]. New York: Chapman and Hall, 1994.
- [4] ILOW J, HATZINAKOS D, VENETSANOPOULOS A N. Performance of FH SS radio networks with interference modeled as a mixture of Gaussian and alpha-stable noise [J]. IEEE Transaction on communications, 1998, 46(4): 18 - 26.
- [5] POURAHMADI M. On minimality and interpolation of harmonizable stable processes [J]. SIAM Journal on Applied Mathematics, 1984, 44(5): 79 - 86.
- [6] STUCK B W. Minimum error dispersion linear filtering of scalar symmetric stable processes [J]. IEEE Transaction Automatic Control, 1978, 23(3): 507 - 509.
- [7] CLINE D B, BROCKWELL P J. Linear prediction of arma processes with infinite variance [J]. Stochastic Processes Applications, 1985, 19: 281 - 296.
- [8] VERDU S. Multiuser detection [M]. Cambridge, U K: Cambridge University Press, 1998.
- [9] MIDDLETON D. Non-Gaussian noise models in signal processing for telecommunications New methods and results for class A and class B noise models [J]. IEEE Transaction Informations on Theory, 1999, 45(11): 1129 - 1149.
- [10] POOR H V, TANDA M. Multiuser detection in impulsive channels [J]. Annales DES Telecommunications-annals of Telecommunications, 1999, 54(8): 392 - 400.
- [11] CHUAH T C, SHARIF B S, HINTON O R. Robust CDMA multiuser detection using a neural-network approach [J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2002, 13(6): 1532 - 1539.
- [12] KAPOOR S, GOLLAMUDI S, NAGARAJ S, et al. Adaptive multiuser detection and beamforming for interference suppression in CDMA mobile radio systems [J]. IEEE Transaction on Vehicular Technology, 1999, 48(11): 1341 - 1355.
- [13] HAYKIN S S. Adaptive Filter Theory [M]. 3rd ed. Englewood Cliffs. USA: Prentice-Hall, 1996.
- [14] WENG J F, LEUNG S H. Adaptive nonlinear RLS algorithm for robust filtering in impulse noise [C]// IEEE International Symposium Circuits and Systems. Washington DC: IEEE, 1997, 4: 2337 - 2340.
- [15] CHUAH T C, SHARIF B S, HINTON O R. Robust adaptive spread-spectrum receiver with neural net preprocessing in non-Gaussian noise [J]. IEEE Transaction on Neural Networks, 2001, 12(3): 46 - 59.
- [16] GONZALEZ J G. Robust techniques for wireless communications in non-Gaussian environments [D]. Newark, DE, USA: University of Delaware, 1997.

(上接第 1961 页)

为了进一步研究改进机制的关键参数 k 对改进机制性能的影响,分别给出了当 $k = 0.001, 0.01, 0.1$ 时的能量消耗以及能量节约百分比的对比情况。

从图 9 可以看出随着 k 值的增大,能量消耗值逐渐减少,主要是因为此时的能量调整幅度增大,因此在睡眠周期的能量消耗值会逐渐减少。当然随着能量消耗值的逐渐减少,能量节约百分比会逐渐增大,如图 10 所示,由此可见 k 值的大小决定了改进机制的性能特点。

5 结语

本文提出了一种睡眠模式下的基于可变睡眠周期能量的改进机制,并在四种实际模型中与 IEEE 802.16e 标准机制进行对比,仿真结果表明,改进机制比标准机制能更有效地节约能量,同时也对改进机制的关键参数对于改进机制性能的影响进行了说明。

参考文献:

- [1] IEEE 802.16e-2005. Part 16: Interface for fixed broadband wireless access systems, IEEE standard for local and metropolitan area networks [S]. IEEE, 2006.
- [2] IEEE Standard for local and metropolitan area networks. Part16: Air interface for fixed broadband wireless access system [S]. IEEE, 2004.
- [3] YANG XIAO. Performance analysis of an energy saving mechanism in the IEEE 802.16e wireless MAN [C]// Proceeding of 3rd IEEE Consumer Communications and Networking Conference. [S. l.]: IEEE, 2006, 1: 406 - 410.
- [4] HAN K, CHOI S. Performance analysis of sleep mode operation in IEEE 802.16e mobile broadband wireless access systems [J]. Proceeding of IEEE Vehicular Technology Conference. [S. l.]: IEEE, 2006, 3: 1141 - 1145.
- [5] KWON T, LEE H, CHOI S, et al. Design and implementation of a simulator based on a cross-layer protocol between MAC and PHY layers in a WiBro Compatible IEEE 802.16e OFDMA systems [J]. IEEE Communication Magazine, 2005, 43(2): 136 - 146.