

# IEEE802.16e 的休眠模式性能评估与优化

董国军, 戴居丰

(天津大学电子信息工程学院, 天津 300072)

**摘要:** IEEE802.16e终端具有移动性, 导致其系统配置受限于电池容量。而休眠模式作为移动终端的必备功能, 它能有效地管理有限的电池容量, 延长移动终端的单次充电使用时间。该文回顾了IEEE802.16e移动终端休眠模式的3种功率节省类型, 通过建模移动终端的休眠模式, 研究了多种功率节省类型相组合的情况, 探讨了休眠模式状态下移动终端的平均能量消耗和平均能量节省问题。通过系统模型仿真, 提出了基于参数配置变化的休眠模式性能评估及优化的方法。

**关键词:** IEEE802.16e; 功率节省类型; 周期性寻呼; 平均能量消耗; 平均能量节省

## Performance Evaluation and Enhancement of Sleep Mode in IEEE802.16e

DONG Guo-jun, DAI Ju-feng

(School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072)

**【Abstract】** Due to the promising mobility in IEEE802.16e, MS (mobile subscriber) is tightly constrained by battery capacity. So sleep mode mechanism becomes an important component for MS which can effectively manage the limited energy, and prolongs the use time of once-charged battery. This paper reviews 3 types of power saving classes of sleep mode of MS in IEEE802.16e, investigates the combinations of several power saving classes, and solves the problems of energy consumption and energy saving of MS at sleep mode. By system model simulation, it presents the methods of performance evaluation and enhancement of sleep mode based on variable parameter configurations.

**【Key words】** IEEE802.16e; power saving class; periodic ranging; mean energy consumption; mean energy saving

IEEE802.16e<sup>[1]</sup>是一种固定和移动宽带无线接入技术, 较IEEE802.16<sup>[2]</sup>增加了支持移动终端以车速移动的功能。由于终端移动性, IEEE802.16e将进一步扩大其在宽带无线接入方案的市场占有率。但是, 作为电池供电的移动终端, 其系统配置必将受限于电池容量。除了采用基于低功耗元器件的物理层设计以外, MAC层休眠模式机制是一个重要的能量节省方案。

为了最小化移动终端能量消耗, 尽量减少对基站空中接口资源的使用, 进入休眠模式的移动终端在预先协商好的时间段内离开基站空中接口, 同时通过周期性地监听同步信息以保持与基站同步。对于每一个移动终端, 可以与基站建立上述多个能量节省的操作, 每一个操作对应一个功率节省类型。有关休眠模式的研究, 文献[3]提出了一个简单的IEEE802.16休眠模式方案。文献[4]提出了基于M/GI/1/N序列建模的IEEE802.16e休眠模式。文献[5]分析了基站发送数据导致移动终端退出休眠模式的情况。但是文献[3~5]均没有考虑休眠模式中3种功率节省类型共存时对休眠模式性能产生的影响。

为了深入分析移动终端休眠模式中3种功率节省类型的共存问题, 本文建立了休眠模式能量消耗模型, 通过仿真探索了基于不同参数配置的休眠模式性能多样化的趋势和优化方法。

### 1 IEEE802.16e 的休眠模式

功率节省类型是一组拥有共同命令属性的连接。基于不同的参数设置、进入/退出流程、移动终端主动发送数据策略

等, 总共有3种功率节省类型。功率节省类型I用于BE(best effort)、NRT-VR(non-real-time variable rate)服务类型; 功率节省类型II用于UGS(unsolicited grant service)、RT-VR(real-time variable rate)服务类型; 功率节省类型III主要用于组播连接服务, 例如周期性寻呼(periodic ranging)。

#### 1.1 功率节省类型 I

图1(a)显示了移动终端处于功率节省类型I的休眠模式操作过程。一旦移动终端进入该休眠模式, 休眠间隔和监听间隔交替出现, 监听间隔具有固定的时间长度( $T_{1\_listen}$ )。当第1个休眠间隔( $T_{1\_sleepmin}$ )完成后, 下一个休眠间隔长度是上一个休眠间隔长度的两倍( $2^{j-1} T_{1\_sleepmin}$ ), 休眠间隔两倍增长到最大值( $T_{1\_sleepmax}$ )后将保持不变, 其中 $j$ 代表第 $j$ 个休眠间隔。 $T_{1\_j}$ 代表第 $j$ 个休眠间隔的时间长度如式(1)所示。

$$T_{1\_j} = \begin{cases} 2^{j-1} T_{1\_sleepmin}, & (2^{j-1} T_{1\_sleepmin} < T_{1\_sleepmax}) \\ T_{1\_sleepmax}, & (2^{j-1} T_{1\_sleepmin} \geq T_{1\_sleepmax}) \end{cases} \quad (1)$$

#### 1.2 功率节省类型 II

图1(b)显示了移动终端处于功率节省类型II的休眠模式操作过程。一旦移动终端进入该休眠模式, 休眠间隔和监听间隔交替出现, 监听间隔具有固定的时间长度( $T_{2\_listen}$ ), 所有的休眠间隔也具有相同的长度( $T_{2\_initial}$ )。  $T_{2\_j}$ 代表第 $j$ 个休眠间隔

**作者简介:** 董国军(1979-), 男, 博士研究生, 主研方向: WiMax, Bluetooth; 戴居丰, 教授、博士生导师

**收稿日期:** 2006-11-09 **E-mail:** zjrobindong@163.com

隔的长度如式(2)所示。

$$T_{2_j} = T_{2\_initial} \quad (2)$$

### 1.3 功率节省类型 III

本文以周期性寻呼作为功率节省类型III的典型代表分析其特性。图 1(c)显示了移动终端处于功率节省类型III休眠模式的操作过程。进入周期性寻呼的功率节省类型III休眠模式，移动终端从基站发送的RNG\_RSP消息中提取下一个休眠间隔( $T_{3\_sleep}$ )和监听间隔( $T_{3\_listen}$ )长度参数。监听间隔具有固定的时间长度，休眠间隔可以由基站动态改变。本文在性能分析时假设休眠间隔同样具有相同的长度。

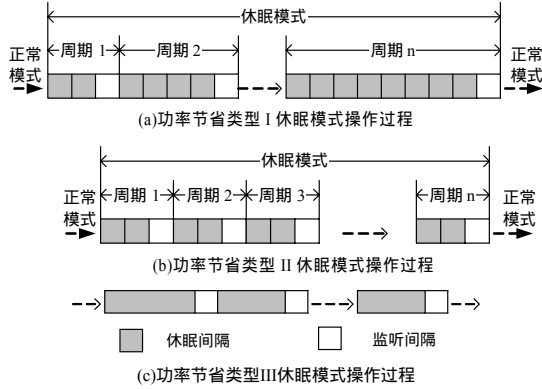


图 1 单个功率节省类型的休眠模式操作过程

## 2 系统模型

图 2 描述了同时拥有 3 种功率节省类型的休眠模式的操作过程。对于任意功率节省类型，本文假设休眠间隔能量消耗的功率为  $P_s$ ，监听间隔能量消耗的功率为  $P_l$ 。如图 2 所示功率节省类型I的监听间隔时间片段可能处于功率节省类型II的休眠间隔时间段内。任意功率节省类型的终止，将终止其他功率节省类型，导致移动终端退出休眠模式进入正常工作状态。所以，移动终端最终的休眠间隔是多种功率节省类型的交织结果，移动终端的能量消耗自然就依赖于功率节省类型的组合。

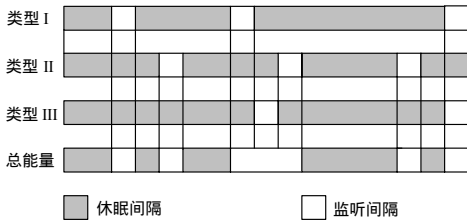


图 2 拥有 3 种功率节省类的休眠模式的操作过程

本文假设移动终端退出休眠模式的概率满足泊松分布，分布函数参数为  $\lambda$ ，基于时间的泊松分布概率密度函数如式(3)所示。退出休眠模式意味着移动终端有数据需要发送或者接收，但是并不包含功率节省类型 III 的周期性过程。

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (0 \leq t < \infty) \quad (3)$$

令  $e_j$  代表移动终端退出休眠模式的事件，该事件发生在功率节省类型I的第  $j$  个休眠间隔所在的周期内。该事件可能由功率节省类型I或者功率节省类型II退出所引起。若移动终端没有数据需要发送或者接收，则移动终端不会退出休眠模式，即  $e_j$  不发生的概率如式(4)所示。用  $n$  代表移动终端退出休眠模式前休眠间隔的次数，最终  $n = \infty$  的概率见式(5)。

$$Pr(e_j = false) = \int_0^{\infty} \lambda e^{-\lambda t} dt = e^{-\lambda \sum_{i=1}^j (T_{1_j} + L_{1\_listen})} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Pr(n = j) &= Pr \left( \begin{aligned} &e_1 = false \ \&\dots \ \&e_{j-1} = false \\ &\&e_j = true \end{aligned} \right) \\ &= Pr(e_{j+1} = false) Pr(e_j = true) \\ &= e^{-\lambda \sum_{i=1}^{j-1} (T_{1_i} + L_{1\_listen})} \left( e^{-\lambda \sum_{i=1}^j (T_{1_i} + L_{1\_listen})} - e^{-\lambda \sum_{i=1}^{j-1} (T_{1_i} + L_{1\_listen})} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

### 2.1 功率节省类型 I

对于功率节省类型I，如果移动终端退出休眠模式，该事件发生在功率节省类型I的第  $j$  个休眠间隔所在的周期内，则该休眠过程能量消耗( $E_1(n=j)$ )如式(6)所示。基于式(5)、式(6)，功率节省类型I的平均能量消耗( $E_1$ )如式(7)所示。功率节省类型I的平均能量节省百分率( $S_1$ )如式(8)所示。

$$E_1(n = j) = \sum_{i=1}^j (T_{1_i} \times P_s + L_{1\_listen} \times P_l) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} E_1 &= \sum_{j=1}^{\infty} [Pr(n = j) \times E_1(n = j)] \\ &= \sum_{j=1}^{\infty} \left[ e^{-\lambda \sum_{i=1}^{j-1} (T_{1_i} + L_{1\_listen})} \left( e^{-\lambda \sum_{i=1}^j (T_{1_i} + L_{1\_listen})} - e^{-\lambda \sum_{i=1}^{j-1} (T_{1_i} + L_{1\_listen})} \right) \right. \\ &\quad \left. \times \sum_{i=1}^j (T_{1_i} \times P_s + L_{1\_listen} \times P_l) \right] \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} S_1 &\times 100\% \\ &= 1 - \frac{E_1}{\sum_{j=1}^{\infty} [Pr(n = j) \times \sum_{i=1}^j [(T_{1_i} + L_{1\_listen}) \times P_l]]} \end{aligned} \quad (8)$$

### 2.2 功率节省类型 II

对于功率节省类型II，如果移动终端退出休眠模式，该事件发生在功率节省类型I的第  $j$  个休眠间隔所在的周期内，该功率节省类型保持时间表示为  $T_2$ ，则该休眠过程能量消耗( $E_2(n=j)$ )如式(9)所示。基于式(5)、式(9)，功率节省类型II的平均能量消耗( $E_2$ )如式(10)所示。功率节省类型II的平均能量节省百分率( $S_2$ )如式(11)所示。

$$E_2(n = j) = \frac{T_2}{T_{2\_initial} + L_{2\_listen}} \times (T_{2\_initial} \times P_s + L_{2\_listen} \times P_l) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} E_2 &= \sum_{j=1}^{\infty} [Pr(n = j) \times E_2(n = j)] \\ &= \sum_{j=1}^{\infty} \left[ e^{-\lambda \sum_{i=1}^{j-1} (T_{1_i} + L_{1\_listen})} \left( e^{-\lambda \sum_{i=1}^j (T_{1_i} + L_{1\_listen})} - e^{-\lambda \sum_{i=1}^{j-1} (T_{1_i} + L_{1\_listen})} \right) \right. \\ &\quad \left. \times \frac{T_2}{T_{2\_initial} + L_{2\_listen}} \times (T_{2\_initial} \times P_s + L_{2\_listen} \times P_l) \right] \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} S_2 &\times 100\% = 1 - \frac{E_2}{\sum_{j=1}^{\infty} [Pr(n = j) \times T_2 \times P_l]} \\ T_2 &= \sum_{i=1}^j (T_{1_i} + L_{1\_listen}) \end{aligned} \quad (11)$$

### 2.3 功率节省类型 III

对于功率节省类型III，如果移动终端退出休眠模式，该事件发生在功率节省类型I的第  $j$  个休眠间隔所在的周期内，该功率节省类型保持时间表示为  $T_3$ ，则该休眠过程能量消耗( $E_3(n=j)$ )如式(12)所示。基于式(5)、式(12)，功率节省类型III的平均能量消耗( $E_3$ )如式(13)所示。功率节省类型III的平均能量节省百分率( $S_3$ )如式(14)所示。

$$E_3(n = j) = \frac{T_3}{T_{3\_sleep} + L_{3\_listen}} \times (T_{3\_sleep} \times P_s + L_{3\_listen} \times P_l) \quad (12)$$

$$\begin{aligned} E_3 &= \sum_{j=1}^{\infty} [Pr(n = j) \times E_3(n = j)] \\ &= \sum_{j=1}^{\infty} \left[ e^{-\lambda \sum_{i=1}^{j-1} (T_{1_i} + L_{1\_listen})} \left( e^{-\lambda \sum_{i=1}^j (T_{1_i} + L_{1\_listen})} - e^{-\lambda \sum_{i=1}^{j-1} (T_{1_i} + L_{1\_listen})} \right) \right. \\ &\quad \left. \times \frac{T_3}{T_{3\_sleep} + L_{3\_listen}} \times (T_{3\_sleep} \times P_s + L_{3\_listen} \times P_l) \right] \end{aligned} \quad (13)$$

$$S_3 \times 100\% = 1 - \frac{E_3}{\sum_{j=1}^{\infty} [Pr(n=j) \times T_3 \times P_j]}$$

$$T_3 = \sum_{i=1}^j (T_{1,i} + L_{1,listen}) \quad (14)$$

## 2.4 总能量节省

在同一时间内，移动终端的休眠模式可能包含一种或者多种功率节省类型。而功率节省类型 III 的周期性寻呼是必须的，功率节省类型 I 和功率节省类型 II 是可选的。本文研究了以下 4 个功率节省类型的组合：

### (1) 功率节省类型 I, II, III

在这个组合中，移动终端的休眠模式同时包含 3 种功率节省类型。其休眠过程平均能量消耗( $E_{1+2+3}$ )估计为式(15)，平均能量节省百分率( $S_{1+2+3}$ )表示为式(16)。

$$E_{1+2+3} = \sum_{j=1}^{\infty} [Pr(n=j) \times E_{1+2+3}(n=j)] \approx E_1 + E_2 + E_3 \quad (15)$$

$$S_{1+2+3} \times 100\% = 1 - \frac{E_{1+2+3}}{\sum_{j=1}^{\infty} [Pr(n=j) \times \sum_{i=1}^j [(T_{1,i} + L_{1,listen}) \times P_i]]} \quad (16)$$

### (2) 功率节省类型 I, III

在这个组合中，移动终端的休眠模式同时包含功率节省类型 I 和功率节省类型 III 两种类型。其休眠过程平均能量消耗( $E_{1+3}$ )估计为式(17)，平均能量节省百分率( $S_{1+3}$ )表示为式(18)。

$$E_{1+3} = \sum_{j=1}^{\infty} [Pr(n=j) \times E_{1+3}(n=j)] \approx E_1 + E_3 \quad (17)$$

$$S_{1+3} \times 100\% = 1 - \frac{E_{1+3}}{\sum_{j=1}^{\infty} [Pr(n=j) \times \sum_{i=1}^j [(T_{1,i} + L_{1,listen}) \times P_i]]} \quad (18)$$

### (3) 功率节省类型 II, III

在这个组合中，移动终端同时包含功率节省类型 II 和功率节省类型 III 两种类型。其休眠过程平均能量消耗( $E_{2+3}$ )估计为式(19)，平均能量节省百分率( $S_{2+3}$ )表示为式(20)。

$$E_{2+3} = \sum_{j=1}^{\infty} [Pr(n=j) \times E_{2+3}(n=j)] \approx E_2 + E_3 \quad (19)$$

$$S_{2+3} \times 100\% = 1 - \frac{E_{2+3}}{\sum_{j=1}^{\infty} [Pr(n=j) \times \sum_{i=1}^j [(T_{1,i} + L_{1,listen}) \times P_i]]} \quad (20)$$

### (4) 功率节省类型 III

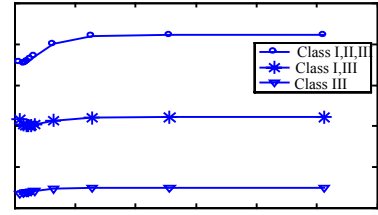
在这个组合中，移动终端只包含功率节省类型 III。其休眠过程平均能量消耗( $E_3$ )估计为式(13)，平均能量节省百分率( $S_3$ )表示为式(14)。

## 3 性能评估

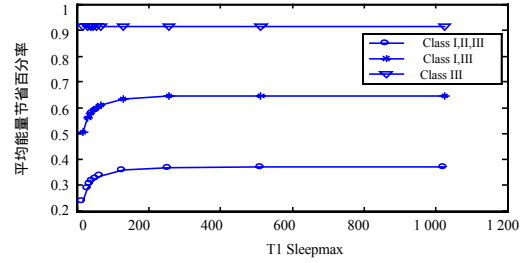
本文通过仿真休眠过程平均能量消耗和平均能量节省百分率研究 4 种功率节省类型组合的性能多样化趋势，探讨了基于  $T_{1\_sleepmax}$ ,  $T_{1\_sleepmin}$ ,  $T_{2\_initial}$  休眠模式参数配置变化的性能评估和优化机制。在仿真中，基于 IEEE802.16e 假设以下参数： $P_r=1w$ ,  $P_s=0.05w$ ,  $T_{1\_listen}=16$  帧,  $T_{2\_listen}=16$  帧,  $T_{3\_listen}=16$  帧,  $T_{3\_sleep}=1500$  帧。

### 3.1 $T_{1\_sleepmax}$ 效应

根据参数  $T_{1\_sleepmax}$  的变化趋势分析 3 种功率节省类型组合的平均能量消耗和平均能量节省百分率性能。图 3 显示的仿真结果基于以下休眠模式初始参数设置： $T_{1\_sleepmin}=8$  帧,  $T_{2\_initial}=25$  帧,  $\lambda=0.005$ 。如图 3 所示，只有当  $T_{1\_sleepmax}$  小于 100 时，系统性能受到较大的影响，并随着  $T_{1\_sleepmax}$  的逐渐增大，其影响力逐渐减弱。



(a)

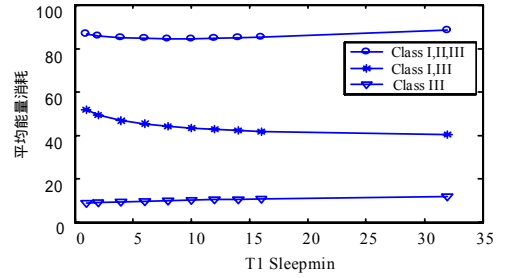


(b)

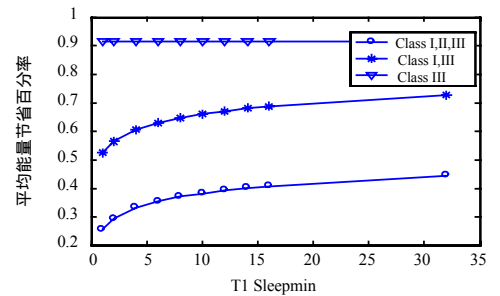
图 3 基于  $T_{1\_sleepmax}$  的性能分析

### 3.2 $T_{1\_sleepmin}$ 效应

根据参数  $T_{1\_sleepmin}$  的变化趋势分析 3 种功率节省类型组合的平均能量消耗和平均能量节省百分率性能。图 4 显示的仿真结果基于以下休眠模式初始参数设置： $T_{1\_sleepmax}=1024$  帧,  $T_{2\_initial}=25$  帧,  $\lambda=0.005$ 。如图 4 所示，随着  $T_{1\_sleepmin}$  的逐渐增加，平均能量消耗逐渐降低，平均能量节省百分率随之增加。



(a)



(b)

图 4 基于  $T_{1\_sleepmin}$  的性能分析

### 3.3 $T_{2\_initial}$ 效应

根据参数  $T_{2\_initial}$  的变化趋势分析 3 种功率节省类型组合的平均能量消耗和平均能量节省百分率性能。图 5 显示的仿真结果基于以下休眠模式初始参数设置： $T_{1\_sleepmax}=1024$  帧,  $T_{1\_sleepmin}=8$  帧,  $\lambda=0.005$ 。如图 5，随着  $T_{2\_initial}$  的逐渐增加，平均能量消耗逐渐降低，平均能量节省百分率也随之增加。

(下转第 32 页)