

IEEE 802.16e 休眠模式算法的研究和改进

刘 利 李津生 洪佩琳

(中国科学技术大学电子工程与信息科学系 合肥 230027)

摘 要 IEEE 802.16e 为移动站点提供了大范围的无线接入,为了减少移动站点的功率消耗,它提出了一种节能机制休眠模式. 移动站点在休眠间隔后进入监听间隔,检查其间是否有数据分组到达. 如果有,它将进入清醒状态接收数据,否则,继续进入休眠间隔. 草案中所提出的休眠模式指数增长算法在低业务量情况下,响应时间过长. 文中提出了线性增长算法解决这一问题,理论分析了该算法的两个性能指标平均响应时间和平均能量消耗. 并结合仿真实验,对比了这两种算法的性能,证实了后者具有较好的性能. 进一步分析了休眠模式各个参数对上述两个性能指标的影响,对参数值的选取有重要帮助.

关键词 无线接入; IEEE 802.16e; 休眠模式; 线性增长; 响应时间

中图法分类号 TP393

Research and Improvement of Sleep Mode in IEEE 802.16e

LIU Li LI Jin-Sheng HONG Pei-Lin

(Department of Electronic Engineering and Information Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230027)

Abstract The IEEE 802.16e provides wide wireless access for mobile stations. It proposes an energy saving mechanism that named sleep mode for conserving the power of the mobile stations (MS). When the mobile station is in the sleep interval, the base station will buffer or drop the traffic send to this mobile station, and indicate the mobile station in the listening interval by broadcast message. When mobile station enters the listening interval, it checks if there is traffic indication message from base station. If so, mobile station will turn into awoken mode to receive traffic. Otherwise, it continue next sleep interval. When in low traffic scenario, the exponential increase algorithm of sleep mode brings on long response time. This paper presents linear increase algorithm to solve this problem. Average response time and average energy consumption are two performance measurements. After theoretical analyses and simulation experiments, the authors compare the two algorithms and conclude that the latter one has better performance. And then the authors analyze the above two performance measurements over each parameter of sleep mode and give the experimental results. The conclusion will be helpful to select the value of parameters.

Keywords wireless access; IEEE 802.16e; sleep mode; linear increase; response time

1 引 言

随着各种无线设备大量接入因特网,对于无线

接入技术的需求越来越强烈. 已经广泛使用的 802.11(WiFi)技术只能提供几百米的覆盖范围,无法满足大范围无线接入的需求. IEEE 802.16 系列标准是一组新兴的无线城域网(Wireless Metropol-

itan Area Network, WMAN) 技术, 针对 2~66GHz 频段提出了一组新的空中接口标准. 2002 年 4 月, IEEE 发布的 IEEE 802.16^[1-2] 标准, 支持 10~66GHz 频段范围内的视距传输, 为宽带无线接入的实现提供了基础. 运行于 2~11GHz 频谱之上的 802.16a 规范是 IEEE 802.16 规范的扩展, 它支持低频段的非视距传输, 使得无线城域网作为有线网络“最后一公里”连接公网的替代手段得以实现. 然而, IEEE 802.16 及 802.16a 仅能支持固定及便携式移动终端的通信, 无法发挥无线接入的内在优势、满足用户对业务移动性的需求. 为此, IEEE 802 工作组在 IEEE 802.16/802.16a 的基础上提出了 802.16e^[3] 协议.

IEEE 802.16e 是 802.16/802.16a 的增补方案, 它在 2~6GHz 的特许频段内支持低速的移动终端, 为企业和用户提供了对固定和移动业务的双重支持. 在 IEEE 802.16e 草案中定义了基站 (Base Station, BS) 和移动站点 (Mobile Station, MS), MS 在移动中保持与 BS 的通信. 为了减少 MS 的功率消耗, 802.16e 提出了 MS 的休眠模式 (sleep mode) 来节约能量.

Yang Xiao^[4] 分析了 802.16e 的休眠模式指数增长算法, 对该算法的特性和不同的参数的影响进行了论证和实验, 在该文献中使用四个指标参数对指数增长算法进行衡量. Seo Jun-Bae 等^[5] 研究了在 BS 有排队队列的情况下, 使用指数增长算法的休眠模式的丢包率和平均响应时间. Lin Yi-Bing 等^[6-7] 研究了在 CDPD (Cellular Digital Packet Data, 蜂窝数字分组数据) 中的休眠模式, 进行了理论分析和仿真实验, 对于研究 802.16e 的休眠模式有一定参考意义. 本文在分析了 802.16e 休眠模式算法, 研

究了上述文献的理论和实验结果后, 认为指数增长算法在某些方面不够完善, 在低业务量 (low traffic) 情况下, 数据帧响应时间过长. 针对这一问题, 本文提出了休眠模式的线性增长算法, 解决了原算法中的不足之处. 并指出了衡量休眠模式算法的两个主要指标, 平均响应时间和能量消耗.

本文在第 2 节简单介绍 802.16e 的休眠模式, 并分析其算法的不足之处; 第 3 节提出线性增长算法, 并对算法性能进行理论分析; 第 4 节对提出的算法进行仿真实验, 并与原算法进行比较; 最后在第 5 节对全文进行总结.

2 IEEE 802.16e 中的休眠模式

为了减少移动站点 (MS) 的功率消耗, IEEE 802.16e 提出了休眠模式 (sleep mode). 支持休眠模式的 MS 具有两种状态: 清醒状态和休眠状态.

在清醒状态下, MS 能够正常地接收和发送数据, 而在休眠状态, 它不能发送和接收数据. 休眠模式由多个休眠周期组成, 每个休眠周期包括一个休眠间隔和一个监听间隔. 从 MS 进入休眠状态到其转到监听状态的持续时间被称为休眠间隔 (sleep interval), 802.16e 规定此间隔在规定的最小值 (T_{\min}) 和最大值 (T_{\max}) 之间根据指数时间算法进行实时更新. 从 MS 休眠间隔结束, 到与下行链路建立同步, 解调下行链路数据, 并做出保持清醒状态或进入休眠状态的判断所持续的时间称为监听间隔 (listening interval), 此间隔由 BS 和 MS 协商决定. 如图 1 所示, 一个休眠间隔接着一个监听间隔成为一个休眠周期, 休眠模式就由这样的多个休眠周期组成, 直到在监听间隔检查到有数据帧.

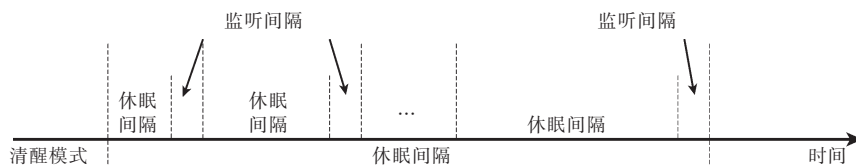


图 1 IEEE 802.16e 休眠模式示意图

在进入休眠状态前, MS 将发送报文通知 BS 协商休眠模式时使用的参数. 在 MS 处于休眠间隔期间, BS 将存储或丢弃所有发给此 MS 的数据分组, 并在其处于监听间隔时以广播报文通知它.

MS 在休眠间隔后进入监听间隔, 检查其间是否有数据分组到达. 如果有, 它将进入清醒状态接收数据, 否则, 继续进入休眠间隔. MS 可以随时终止休眠状态返回到清醒状态, 而不必等到休眠间隔结

束. 若 BS 接收到被认为是处于休眠状态下的 MS 所发送来的数据, 则认为此 MS 不再处于休眠状态.

802.16e 中提出的休眠模式算法采用指数方式来增加休眠时间, 算法简单. 在低业务量的情况下, 数据帧之间的间隔时间比较长, 休眠模式要经历比较多的休眠周期, 经过多个周期后, 指数增长的休眠间隔就会增长到一个比较大的值. 如果在此间隔内有数据帧到达, 就会经过较长时间才能被响应. 文献

[4]中的实验数据也证明了这一分析. 因此, 在低业务量情况下, 指数增长算法会延长数据包的响应时间, 而且考虑到休眠模式也是在业务量低时被应用, 所以需要提出一种算法来减少响应时间并且也能够很好地减少功率消耗.

3 线性增长算法

针对指数增长算法中出现的问题, 本文提出了线性增长算法以解决此问题, 该算法的目的是通过减缓休眠间隔时间的增长来减少数据帧的响应时间. 提出的新算法必须达到以下要求:

(1) 不能改变原标准中使用的参数, 否则将对协议产生较大修改;

(2) 在响应时间性能上有较大改进, 能够有效减少响应时间;

(3) 保持节能特性, 在功耗方面不能比原算法差.

定义参数如下: 最小的休眠间隔为 T_{\min} , 最大休眠间隔为 T_{\max} , 监听间隔为 T_L . T_i 表示第 i 个休眠间隔的时间, 这样第 i 个休眠周期的时间就是 $(T_i + T_L)$. MS 与 BS 协商休眠模式后, 在一定时期内使用固定的参数, 直到重新协商新的参数. 本文提出的算法是 MS 在休眠模式中, 当结束一个休眠周期, 在监听间隔内没有发现有数据包进来时, 继续进入下一个休眠周期, 休眠间隔按线性增加, 增加值为 T_{\min} , 直到休眠间隔达到 T_{\max} . 算法描述公式如下:

$$T_i = \begin{cases} iT_{\min}, & iT_{\min} < T_{\max} \\ T_{\max}, & iT_{\min} \geq T_{\max} \end{cases} \quad (1)$$

假定数据帧到达 MS 遵循泊松过程 (Poisson process), 到达速率为 λ 帧/单位时间. 该过程可以表示为

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

其中, $N(t)$ 代表 t 时刻到达的事件, 在本文中表有无数数据帧的到达. 当上式中 $k=0$ 时, 表示 s 时刻到 $s+t$ 时刻没有数据帧到达, 即

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

所以, s 时刻到 $s+t$ 时刻至少有一个数据帧到达的概率为

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

在休眠模式中, MS 在休眠周期中至少监听到一个数据帧记做事件 E . 当 MS 在执行第 i 个休眠周期时, 才监听到数据帧到达记做 E_i , 表示前 $i-1$

个周期没有数据帧到达, 概率公式如下:

$$\begin{aligned} P(E_i = \text{true}) &= \prod_{j=1}^{i-1} P(e_j = \text{false}) P(e_i = \text{true}) \\ &= e^{-\lambda \sum_{j=1}^{i-1} (T_j + T_L)} (1 - e^{-\lambda (T_i + T_L)}) \end{aligned} \quad (5)$$

记 I 为小于 (T_{\max}/T_{\min}) 的最大整数, 则式(5)可以表示为

$$P(E_i = \text{true}) = \begin{cases} e^{-\lambda(i-1)(0.5iT_{\min} + T_L)} (1 - e^{-\lambda(iT_{\min} + T_L)}), & i \leq I \\ e^{-\lambda(0.5I(I+1)T_{\min} + (i-I-1)T_{\max} + IT_L)} (1 - e^{-\lambda(T_{\max} + T_L)}), & i > I \end{cases} \quad (6)$$

当有数据帧到达 MS 时, MS 已经经过的休眠周期个数记为 n , 其概率表达如式(6), 即 $P(n=i) = P(E_i = \text{true})$. 因为每次数据帧到达时刻是随机的, 可能会在 MS 的休眠间隔到达, 必须要等到监听间隔 MS 才能知道有数据到达, 然后结束休眠模式进行接收. 该数据帧等待的时间记为 T_w . 设 MS 在休眠间隔和监听间隔消耗的功率分别为 E_S 和 E_L , 这 n 个周期所消耗的功率记为 E_n . 上述所要考察的几个指标值的平均值, 也即期望值记做 $E[\cdot]$, 分别为 $E[n]$, $E[T_w]$, $E[E_n]$. 这几个值的意义如下: $E[n]$ 表示了某一业务率的情况下, MS 平均经过的休眠周期, 作为一个特征值, 用于衡量该算法的效果, 在第 4 节的仿真实验中将会用实验数据与理论分析结果进行对比验证; $E[T_w]$ 表示了数据帧的平均等待时间, 该值反映了算法对数据帧的响应速度, 是一个重要的考察算法性能的指标; $E[E_n]$ 表示了每次休眠模式所消耗的平均功率, 该值反映了算法的节能效果, 是另一个重要的考察指标.

由式(6), 可得出平均周期个数 $E[n]$ 为

$$\begin{aligned} E[n] &= \sum_{i=1}^{\infty} iP(n=i) = \sum_{i=1}^I iP(n=i) + \sum_{i=I+1}^{\infty} iP(n=i) \\ &= \sum_{i=1}^I ie^{-\lambda(i-1)(0.5iT_{\min} + T_L)} (1 - e^{-\lambda(iT_{\min} + T_L)}) + \\ &\quad \sum_{i=I+1}^{\infty} ie^{-\lambda(0.5I(I+1)T_{\min} + (i-I-1)T_{\max} + IT_L)} (1 - e^{-\lambda(T_{\max} + T_L)}) \end{aligned} \quad (7)$$

当 MS 在休眠周期时, 有数据帧到达, 考虑泊松过程是随机的, 可以认为数据帧到达时刻均匀分布在休眠周期里, 所以平均等待时间 $E[T_w]$ 为

$$\begin{aligned} E[T_w] &= \sum_{i=1}^{\infty} P(n=i) (T_i + T_L) / 2 \\ &= \sum_{i=1}^I P(n=i) (iT_{\min} + T_L) / 2 + \end{aligned}$$

$$\sum_{i=I+1}^{\infty} P(n=i)(T_{\max} + T_L)/2 \quad (8)$$

平均能量消耗 $E[E_n]$ 为

$$\begin{aligned} E[E_n] &= \sum_{i=1}^{\infty} P(n=i) \sum_{k=1}^i (T_k E_S + T_L E_L) \\ &= \sum_{i=1}^I P(n=i)(0.5i(i+1)T_{\min} E_S + iT_L E_L) + \\ &\quad \sum_{i=I+1}^{\infty} P(n=i)(0.5I(I+1)T_{\min} E_S + \\ &\quad (i-I-1)T_{\max} E_S + iT_L E_L) \end{aligned} \quad (9)$$

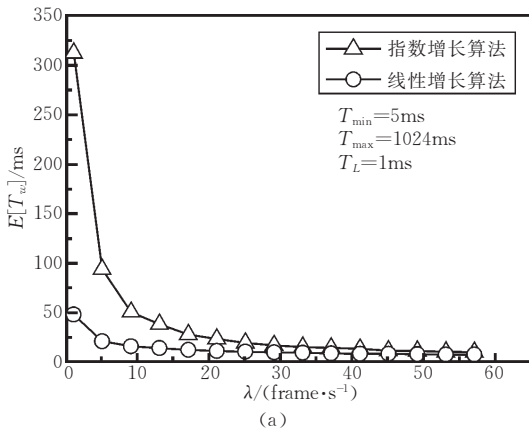
对于式(8),(9),固定其它参数,分别考察 T_{\min} , T_L 和 T_{\max} , 可以看作这几个参数的一元方程. 分别对其求导, 然后运用数值分析的方法, 可以得出: ① $E[T_w]$ 随着 T_{\min} 减小而减小, $E[E_n]$ 随着 T_{\min} 减小而增大, 在选取时应根据对这两个性能指标不同的权值决定; ② $E[T_w]$ 和 $E[E_n]$ 都随着 T_L 减小而减小, 因此选取 MS 在监听间隔 T_L 实际操作所需最小值将是最优的; ③ $E[T_w]$ 随着 T_{\max} 减小而减小, $E[E_n]$ 随着 T_{\max} 减小而增大, 在选取时的考虑同①.

4 性能评估和仿真实验

本文对提出的休眠模式线性增长算法进行了仿真实验, 并与上述理论分析的结果进行对比. 然后与指数增长算法进行比较, 考察线性增长算法在响应时间上的性能改进. 最后考察了休眠模式各参数值的选取对性能的影响. 在下面的实验中不考虑 MS 处理数据帧的时间, 仅考察对数据帧的响应时间和能量消耗.

4.1 仿真验证

首先进行仿真, 获得均值 $E[n]$, 并与式(7)分析的结果进行对比. 仿真参数设置如下, $T_{\min} = 5\text{ms}$, $T_{\max} = 1024\text{ms}$, $T_L = 5\text{ms}$, λ 值从 1 增长到 60 frames/s, 对每个 λ 值的仿真时间是 100s. 将这几个参数代入式(7), 得到下式(各参数以 s 为单位代入):



$$\begin{aligned} E[n] &= \sum_{i=1}^{204} i e^{-0.001\lambda(i-1)(2.5i+5)} (1 - e^{-0.005\lambda(i+1)}) + \\ &\quad \sum_{i=205}^{\infty} i e^{-\lambda(1.029i-189.01)} (1 - e^{-1.029\lambda}) \end{aligned} \quad (10)$$

该式特征曲线如图 2 曲线(Δ)所示.

图 2 中的曲线(\circ)是仿真实验所得结果, 与式(10)分析结果吻合. 说明使用的实验方法正确, 符合理论分析得出的结果, 接下来的比较将直接使用实验数据, 不再与理论分析进行对比.

分析图 2, 可以看出随着 λ 的增大, $E[n]$ 的值逐渐减小. λ 值表示每秒数据帧的到达多少, 随着 λ 增大, 表明数据帧到达越来越频繁, 数据帧之间的间隔时间越来越短. 所以, 每次 MS 进入休眠模式的时间越来越短, 所经过的周期 n 也越来越少. 因此, $E[n]$ 可以有效地反映出休眠周期与 λ 的变化关系.

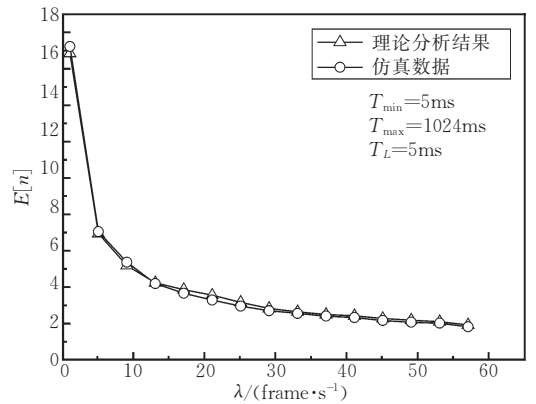


图 2 理论分析结果与仿真数据对比图

4.2 与指数增长算法比较

为了显示线性增长算法在响应时间上的优势, 同时比较两种算法在功率上的差别, 通过仿真来对比指数增长算法与线性增长算法的特性. 仿真参数设置如下, $T_{\min} = 5\text{ms}$, $T_{\max} = 1024\text{ms}$, $T_L = 1\text{ms}$. 设 $E_S = 1$, $E_L = 10$. λ 值从 1 增长到 60 frames/s, 对每个 λ 值仿真时间是 100s. 仿真结果如图 3 所示.

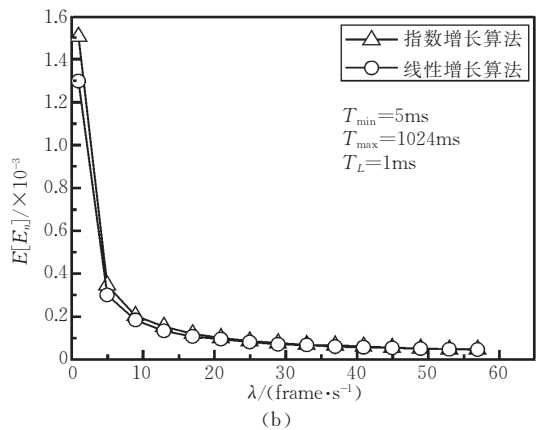


图 3 线性增长算法与指数增长算法对比图

从图 3(a)中可以看出,线性增长算法在响应时间上比指数增长算法明显下降很多,尤其是在低业务量的情况下,响应时间减少 60%~80%,表明该算法在这一性能上的优势.从图 3(b)中可以看出线性增长算法引起的功耗也比指数增长算法稍小,在低业务量情况下功耗减少 10%~15%.由上述比较

可以看出,线性增长算法在继续保持节能效果的同时,大大缩小了数据帧的响应时间.

4.3 各参数的影响

为了考察参数 T_{\min} , T_L , T_{\max} 对响应时间、功耗的影响,分别对各个参数选取不同的值进行仿真,获得的结果如图 4 所示.

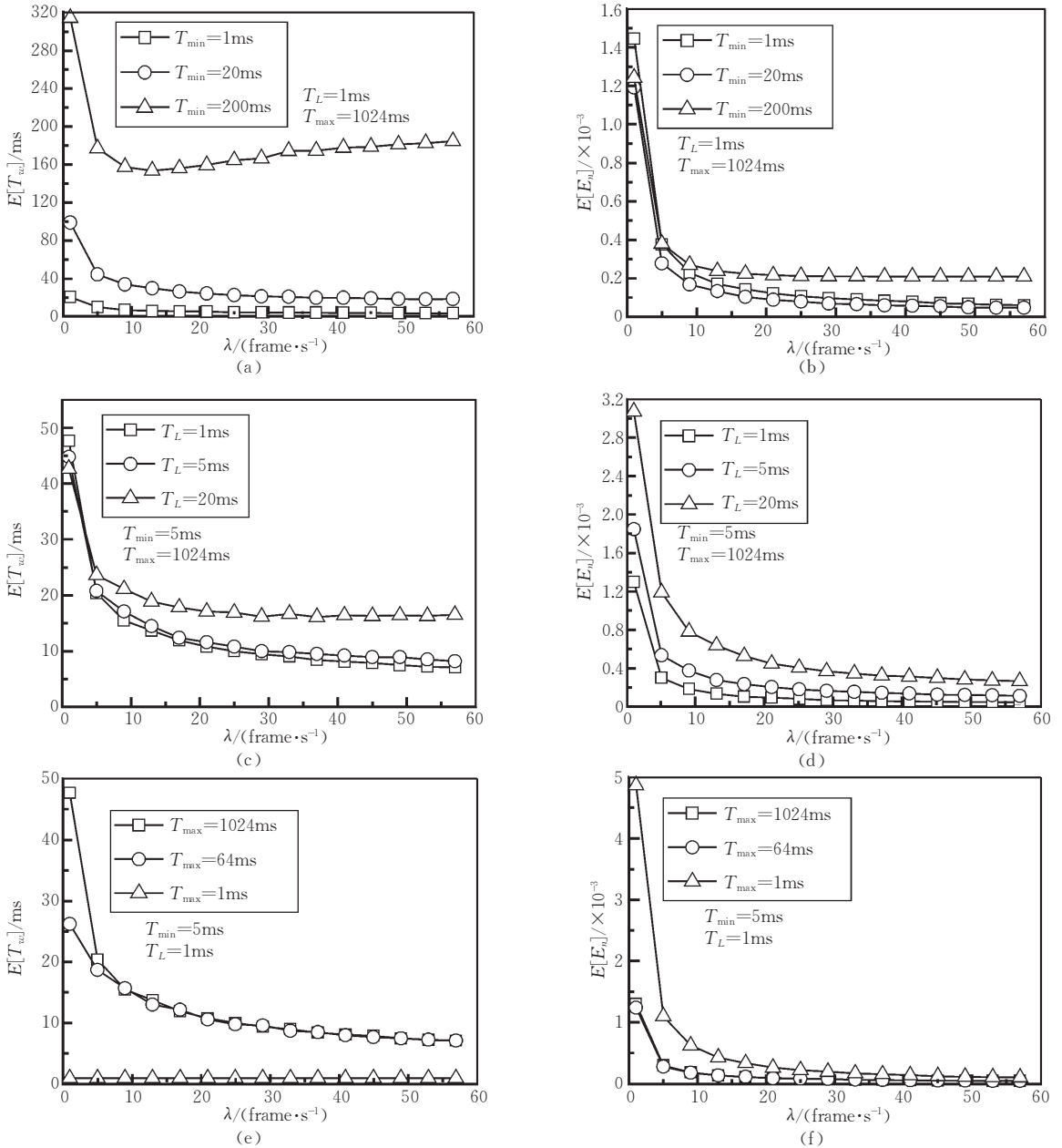


图 4 各参数对响应时间、功耗影响的仿真结果

4.3.1 T_{\min} 的影响

考察 T_{\min} 对响应时间、功率消耗的影响,仿真参数设置如下: $T_L = 1\text{ms}$, $T_{\max} = 1024\text{ms}$, $E_S = 1$, $E_L = 10$, T_{\min} 分别为 1ms, 20ms, 200ms. 从图 4(a)中可以看出, T_{\min} 的值越小,响应时间也越小,从这个角度看选择一个较小的 T_{\min} ,可以获得较小的响应时间.

从图 4(b)中看出,在 λ 值较小时,过小的 T_{\min} 引起的功耗会比较大,因为 T_{\min} 过小会导致过多的休眠周期 n ,这样会经历过多的监听间隔,引起更大的功耗.在 λ 值较大时,过大的 T_{\min} 引起的功耗比较大,因为此时数据帧之间间隔很小,不需要经历太长的休眠周期,太长的休眠周期反而会浪费过多功率.因

此,休眠间隔的初始值 T_{\min} 的设置,将会影响到响应时间、功耗这两个考察指标值,在选择 T_{\min} 时,应充分考虑到数据帧的到达速率.

4.3.2 T_L 的影响

考察 T_L 对响应时间、功率消耗的影响,仿真参数设置如下: $T_{\min} = 5\text{ms}$, $T_{\max} = 1024\text{ms}$, $E_S = 1$, $E_L = 10$, T_L 分别为 1ms , 5ms , 20ms . 从图 4(c), (d) 可以看出, T_L 的值越小,其响应时间和功耗都越小,因此在选择 T_L 的值时,应在条件允许的情况下尽量选一个较小的值.

4.3.3 T_{\max} 的影响

考察 T_{\max} 对响应时间、功率消耗的影响,仿真参数设置如下: $T_{\min} = 5\text{ms}$, $T_L = 1\text{ms}$, $E_S = 1$, $E_L = 10$, T_{\max} 分别为 1024ms , 64ms , 1ms (此时, $T_i = T_{\max} = 1\text{ms}$, $i = 1, 2, \dots$). 从图 4(e) 中可以看出,随着 T_{\max}

的减小,响应时间也在减小,尤其在 λ 值较小时. 这是因为较小的 T_{\max} 限制了休眠间隔时间的增长,这样就减少了响应时间. 但是从图 4(f) 中可以看出过小的 T_{\max} 会引起过大的功耗,因为 T_{\max} 较小时,限制了休眠间隔的增长,这样在整个休眠周期里监听间隔所占比例较高,因此功耗也就过大. 所以,在选择 T_{\max} 时,一方面要能够减少响应时间,另一方面要尽量避免引入过大的功耗.

4.4 时间的影响

为了考察线性增长算法在时间上的稳定性,在到达率 λ 一定的情况下,给出了时间参数值变化的实验. 仿真参数设置如下, $T_{\min} = 5\text{ms}$, $T_{\max} = 1024\text{ms}$, $T_L = 1\text{ms}$, $E_S = 1$, $E_L = 10$. 时间 t 的变化范围为 $0 \sim 100\text{s}$, λ 取值分别固定为 $10, 20, 30$, 做三组实验进行对比,仿真结果如图 5 所示.

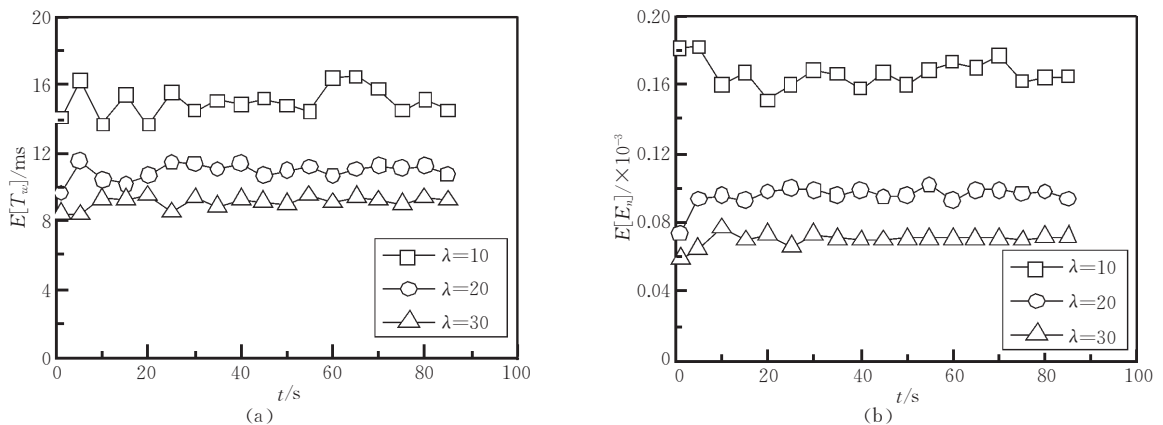


图 5 时间参数对响应时间、功耗影响的仿真结果

从图 5 可以看出,对于每一个固定的到达率 λ 值,响应时间 $E[T_w]$ 和功耗 $E[E_n]$ 相对时间参数值的变化都是在某一个固定范围内的随机波动,说明了该算法在时间上的稳定性.

5 总 结

本文在分析了 IEEE802.16e 提出的休眠模式指数增长算法后,指出了其中的不足之处,并提出了改进的线性增长算法. 从理论上分析了所提出的算法在泊松过程业务背景下的响应时间、功率消耗等性能,并结合仿真实验验证了理论分析结果. 在对比两种算法的响应时间和功率消耗后,得出了线性增长算法性能更加优越的结论. 进一步实验分析了各个参数对于响应时间和功耗的影响,可以为选择参数值提供参考. 该算法在没有改变原标准中规定参数的情况下,仅对原算法进行改变,因此与原算法有良好的兼容性,可以被普遍采用而不会对协议产生

额外的影响.

参 考 文 献

- [1] IEEE 802.16-2001. IEEE standard for local and metropolitan area networks — Part 16: Air interface for fixed broadband wireless access system. April 8, 2002
- [2] Eklund C, Marks R B, Stanwood K L, Wang S. IEEE standard 802.16: A technical overview of the wireless MAN air interface for broadband wireless access. IEEE Communications Magazine, 2002, 40(6): 98-107
- [3] IEEE 802.16e/D10-2005. Part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems — Amendment for physical and medium access control layers for combined fixed and mobile operation in licensed bands. August 9, 2005
- [4] Yang Xiao. Energy saving mechanism in the IEEE 802.16e wireless MAN. IEEE Communications Letters, 2005, 9(7): 595-597
- [5] Seo Jun-Bae, Lee Seung-Que et al. Performance analysis of sleep mode operation in IEEE802.16e//Proceedings of the 2004 IEEE 60th Vehicular Technology Conference, VTC2004-

Fall. Los Angeles, 2004, 2(26-29): 1169-1173

- [6] Lin Yi-Bing, Chuang Yu-Min. Modeling the sleep mode for cellular digital packet data. *IEEE Communications Letters*, 1999, 3(3): 63-65



LIU Li, born in 1983, Ph. D. candidate. His research interests include communication protocols and network security.

- [7] Kwon Sun-Jong, Yun Won Chung, Dan Keun Sung. Queuing model of sleep-mode operation in cellular digital packet data. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2003, 52(4): 1158-1162

LI Jin-Sheng, born in 1937, professor, Ph. D. supervisor. His research interests include network protocols and next generation network architecture.

HONG Pei-Lin, born in 1961, professor, Ph. D. supervisor. Her research interests include network policy control and information security.

Background

This project is supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No. 90104011, which title is Research on the Architecture, Protocol Model, and Mechanisms of the Next Generation Network. The project mainly research on these field; Broadband wireless access, the architecture and protocol model of All-Optical Network, the research on the architecture of the active node. The authors have made some work on wireless access and mobile IPv6. This paper focuses on sleep mode operation of IEEE 802.16e.

IEEE 802.16 series standards are a set of Wireless Metropolitan Area Network (WMAN), which define the air interface of 2~66GHz wave. The original IEEE 802.16 standard, which define the air interface of 10~66GHz wave, provides the basis of large scale of wireless access. Currently used IEEE 802.16d is the extension of original standard. Due to 802.16d barely provide fixed wireless access, this cannot support mobility. The IEEE 802 group releases the IEEE 802.16e.

IEEE 802.16e is the amendment of 802.16, which can

support mobile node of low mobility. In the IEEE 802.16e draft, it defines the Base Station (BS) and the Mobile Station (MS). MS keep connection with BS while it moves. MS usually is mobile device, which was powered by battery. In order to save energy of MS, IEEE 802.16e proposes the sleep-mode operation.

Yang Xiao analyzed the IEEE 802.16e sleep mode exponential algorithm. He analyzed and simulated the performance over different parameters. Seo Jun-Bae et al. researched the Drop probability and average waiting time of sleep mode exponential algorithm, when there are queues in BS.

After analyzing the sleep mode algorithm of IEEE 802.16e and list the limitations, the authors propose the linear increase algorithm, and theoretically analyze and simulate the performance metrics of this algorithm receiving frames of Poisson process. After the comparison of these performance metrics, we conclude that the linear increase algorithm is better. The algorithm is compatible with original standard. It can be applicable in all MSs.