

基于自相似流的 IEEE 802.16e 休眠算法^①

邝月娟 杨贯中 陆绍飞 杨 微 (湖南大学 软件学院 湖南 长沙 410082)

摘要: 为了减少移动站点的功率消耗,降低服务基站空中资源的使用,IEEE 802.16e 引入了休眠模式。移动站点与服务基站协商后进入休眠周期并暂时终止业务服务。休眠模式算法目前研究工作大都基于包到达服从泊松过程的假定来设计与分析算法,但研究表明,数据包到达的时间间隔遵循类似 Pareto 分布的重尾分布。针对网络流量的自相似特性,提出指数递减的休眠模式算法。理论分析与实验表明,此算法在平均响应时间和平均能量消耗方面都要优于 IEEE 802.16e 协议所建议的指数递增休眠模式算法。

关键词: IEEE802.16e; 休眠模式; 自相似; Pareto; 能量消耗; 响应时间

Sleep-Mode Algorithm in IEEE 802.16e Based on Self-Similar Stream

KUANG Yue-Juan, YANG Guan-Zhong, LU Shao-Fei, YANG Wei

(School of Software, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: In order to reduce the power consumption of a mobile station, IEEE802.16e introduces the sleep mode, in which a mobile station stops its normal service. Network arrivals are often modeled as a Poisson process for analytic simplicity, but recent traffic Studies have shown that data packet inter-arrivals including Pareto distribution, are not exponentially distributed, but are heavy-tailed distributed, including Pareto distribution. In order to balance the average energy consumption and the average waiting time, this paper proposes a power function decrease algorithm for sleep mode based on Pareto distribution. Experiments and theoretical analysis show that the algorithm has a lower average energy consumption and shorter average waiting time than the algorithm proposed in IEEE 802.16e standard.

Keywords: IEEE 802.16e; sleep mode; self-similar mode; Pareto; energy consumption; response time

1 引言

IEEE 802.16e^[1]是 IEEE 802.16/802.16a 的增补方案,它在 2~6GHz 的特许频段内支持最高 120km/h 的移动终端,填补了高速率的无线局域网和高移动性的蜂窝通信系统之间的空白,提供了对固定业务和移动业务的双重支持。在 IEEE 802.16e 标准中定义了基站(Base Station, BS)和移动站点(Mobile Station, MS)。为了减少 MS 的功率消耗,尽量减少基站空中接口的使用,延长移动终端的电池使用寿命,IEEE 802.16e 提出了休眠模式(sleep

mode)。在进入休眠模式前,MS 向 BS 发送进入休眠模式的请求,在收到 BS 准许其进入休眠的回应消息后,MS 进入休眠模。BS 的回应消息包括最小休眠窗口(Tmin),最大休眠窗口(Tmax),以及监听窗口(L)等参数取值。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(T)和一个监听间隔(L)。

休眠模式的操作机制如图 1 所示:在经过第一个休眠时间间隔 T1 后,MS 进入监听间隔 L1 监听 BS 广播的指示消息,判断在刚经过的休眠间隔中,BS 是否有指向该 MS 的数据包。如果有,MS 在本次监听间

① 收稿时间:2009-12-29;收到修改稿时间:2010-04-02

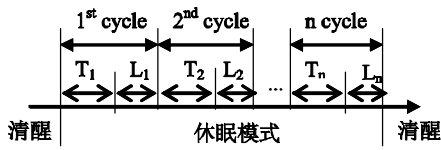


图1 IEEE 802.16e 休眠模式示意图

隔之后回到清醒模式，反之则进入下一个休眠周期，直到 MS 在第 n 个休眠周期的监听间隔 Ln 中监听到有 BS 指向该 MS 的分组，才退出休眠模式进入到清醒模式进行服务响应。在不同休眠周期内，休眠间隔 T 依据休眠算法在 Tmin 与 Tmax 之间变化，而监听间隔 L 也可以变化，但一般都取固定值。MS 在整个休眠过程中都是在休眠模式和清醒模式之间进行周期性切换。

$$T_j = \begin{cases} T_{\min}, & (j=1) \\ \min(2^{j-1}T_{\min}, T_{\max}), & (j>1) \end{cases} \quad (1)$$

IEEE802.16e 标准提出了基于指数增长的休眠算法，算法描述如公式(1)所示。第一个休眠周期的休眠间隔设为 Tmin，每隔一个休眠周期，休眠间隔比上一次休眠间隔扩大两倍但不能超过最大休眠间隔 Tmax，如果此时休眠间隔超过 Tmax，则将 Tmax 设为当前休眠间隔。

目前针对 IEEE 802.16e 休眠模式的研究工作大多是假定分组网络中的数据包的到达过程服从泊松分布[2-8]。文献[2]通过应用泊松分布的概率特点，理论与实验分析了基于指数增长的休眠模式算法，并对休眠模式中各个参数对性能的影响进行了论证与实验。为了提高休眠模式的响应时间，文献[3]提出了一种线性增长休眠算法。文献[7]提出了一种基于自适应的休眠算法，该算法先按照指数增长的休眠算法进行递增，直到增长到 Tmax 后，休眠间隔取一个适当的固定值 Ta 并保持不变。实验证明，较之指数增长休眠模式算法，线性增长休眠算法和自适应休眠算法在平均等待时间与平均能量消耗方面都有所降低，针对实时性与低能耗的要求有了一定的改进。文献[8]根据每一次进入清醒状态时的休眠间隔大小对下一次进入休眠模式的最小休眠间隔与最大休眠间隔参数值进行自适应调整，通过参数值的调整以降低站点的能量消耗。文献[4-6]主要对 IEEE 802.16e 的休眠模式进行了综合性的性能评估。近年来的研究表明，

无论是在局域网还是广域网中，数据包的到达时间间隔并不遵循指数分布，而是类似 Pareto 分布的重尾分布[9-12]。文献[13]针对自相似流量的分布，讨论休眠模式的相关性能分析。

通过分析指数递增算法在低业务量的情况下，很快就会使休眠间隔增长到一个比较大的值。如果在此休眠间隔内，基站有指向该站点的数据帧到达，则会经过一个比较长的等待时间，待移动站点进入清醒状态后才会得到响应，降低了服务质量。本文在讨论 IEEE802.16e 的休眠模式机制的基础上，重点讨论了基于自相似流的相关特性，提出了指数递减休眠模式算法。本文在第 1 节中提出指数递减休眠算法，建立数学模型，理论分析了休眠模式算法的两个主要指标：平均能耗和平均等待时间；第 2 节通过数学实验比较得出该算法在平均等待时间和平均能量消耗方面较之指数增长休眠模式算法的优越性，最后在第 3 节总结了全文。

2 指数递减休眠算法描述

文献[14]提出了重尾分布的概念：

$P[X \geq x] \approx ax^{-b}$ ，当 $x \rightarrow \infty$ ， $b \geq 0$ ，并认为网络中的数据包的到达间隔分布基本都是重尾分布。

而 Pareto 分布的定义为公式(2)：

$$F(x) = P(X \leq x) = 1 - (a/x)^b, a, b \geq 0, x \geq a \quad (2)$$

这两个函数很相似，论文通过实验验证，利用 Pareto 分布，可以构造出自相似的过程。结合重尾分布的意义和包到达的间隔分析可以得出：网络中大部分数据包会集中在很短的时间内到达。休眠的启动是在接收端在经过一定时间后还没有收到包，接收端就得启动休眠机制。我们考虑到一个数据包的发生情况，在休眠的这段时间内，如果 MS 没有收到这个数据包，不考虑网络异常的情况下，那么越往后收到这个包到达的概率应该会越大。如果我们按照原先协议那样，越到后面，休眠时间间隔越大，势必会延长平均等待时间，为此我们提出指数递减的休眠算法。

指数递减休眠算法各参数定义如下：L 表示监听时间且在算法中被 BS 设为固定值；Tj 表示第 j 个休眠间隔，则第 j 个休眠周期的时间间隔为 L+Tj；Tmax 表示最大休眠间隔；Tmin 表示最小休眠间隔。

指数递减算法的休眠过程描述如下：当经过一段时间没有数据包服务时，MS 发送消息给 BS 请求进入

休眠模式，待收到 BS 的确认消息并返回 T_{max} 、 T_{min} 、 L 等参数值后，MS 开始进入休眠模式。休眠模式由休眠间隔与监听间隔所组成的休眠周期组成。MS 进入休眠模式的第一个休眠间隔为最大休眠间隔 T_{max} 。当结束一个休眠间隔，在随后的监听间隔中若监听到 BS 有指向 MS 的数据包时，MS 终止休眠进入到清醒模式进行正常服务，否则将继续进入下一个休眠周期，休眠间隔按公式(3)的指数递减算法进行变化，直到休眠间隔达到最小休眠间隔 T_{min} 。

$$T_j = \begin{cases} \max((1/2)^j T_{max}, T_{min}) \\ T_{max}, (j=1) \end{cases} \quad (3)$$

假定数据帧到达 MS 遵循 Pareto 分布,密度函数为:

$$f(x) = ax^{-b}$$

对于不同的流量速度，包到达的间隔不等，通过 Pareto 公式，我们可以推出对于不同的 a, β ，概率有不同的值。对于网络速率来说， a, β 的取值与速率有关，速率不同，时间间隔不同。 a 越大，单位时间到底包的概率越大，则说明速率越大；同理 β 越大，说明速率越小。故此我们借助一个变量 a 的不同，来表示不同的速率。

我们用概率统计的方法分析指数递减休眠模式算法的平均等待时间与平均能量消耗两个性能指标。令 j 表示 MS 在进入清醒状态之前所经过的休眠周期个数，表示直到第 j 个休眠周期中才监听到一个数据帧， t_j 表示在第 j 个周期结束时的时刻。则一个数据帧直到第 j 个休眠周期才被监听到的概率如下：

$$pr(n = j) = \int_{t_{j-1}}^{t_j} ax^{-b} dx \quad (4)$$

简化考虑数据包在第 j 个周期到达的随机性，可以认为数据包的到达时刻服从均匀分布，则平均能量消耗 $E(t)$ 为： $I = \text{Log}_2(T_{max}/T_{min})$

$$\begin{aligned} E(t) &= \sum_{j=1}^{\infty} pr(n = j)(T_j + L)/2 \\ &= \sum_{j=1}^I \int_{t_{j-1}}^{t_j} ax^{-b} dx * (2^{-j+1} T_{max} + L)/2 \\ &+ \sum_{j=1}^{\infty} \int_{t_{j-1}}^{t_j} ax^{-b} dx * (T_{min} + L)/2 \\ t_j &= t_j + 2^{-j+1} T_{max}, j = 0, 1, 2, \dots, t_0 = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

令 E_s, E_L 分别为休眠间隔和监听间隔消耗的功率，则平均能量消耗 $E(en)$ 为

$$\begin{aligned} E(en) &= \sum_{j=1}^{\infty} pr(n = j) \sum_{k=1}^j (T_k E_s + L E_L) \\ &= \sum_{j=1}^I \int_{t_{j-1}}^{t_j} ax^{-b} dx * \sum_{k=1}^j (T_k E_s + L E_L) \\ &+ \sum_{j=1}^{\infty} \int_{t_{j-1}}^{t_j} ax^{-b} dx * \sum_{k=1}^j (T_k E_s + L E_L) \end{aligned} \quad (6)$$

$$t_j = t_j + 2^{-j+1} T_{max}, j = 0, 1, 2, \dots, t_0 = 0$$

根据公式(5)，(6)分析算法中各参数对性能影响，可以得出：

- ① 平均能耗随最小休眠窗口减少而增大。
- ② 平均等待时间随最小休眠窗口减少而减少，随最大休眠窗口减少而减少。
- ③ 平均能耗和平均等待时间都随监听窗口减少而减少。

3 性能评估

通过设置统一的参数，用 MATLAB 对指数递增算法和指数递减算法进行实验比较。仿真参数设置为： $T_{min} = 1ms, L = 1ms, T_{max} = 1024 ms, E_s = 1, E_L = 10, a$ 从 10 增加到 100， β 取 0.82。实验结果如图 2、图 3 所示。

实验结果表明指数递减算法的平均等待时间与平均能量消耗较之指数递增算法都有所改进。在继续保持节能效果的同时，缩小了数据帧的平均等待时间，减少了包的延时。

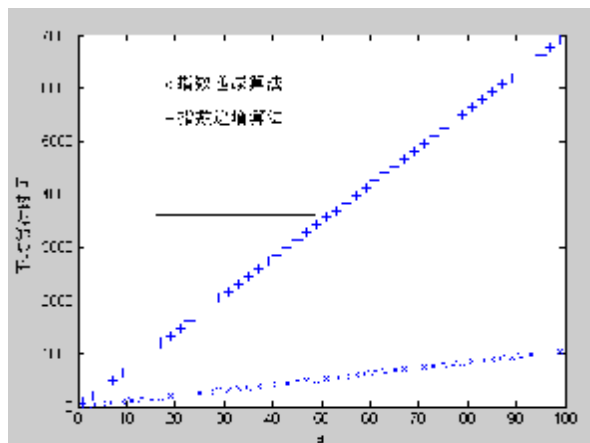


图 2 各算法的平均等待时间比较

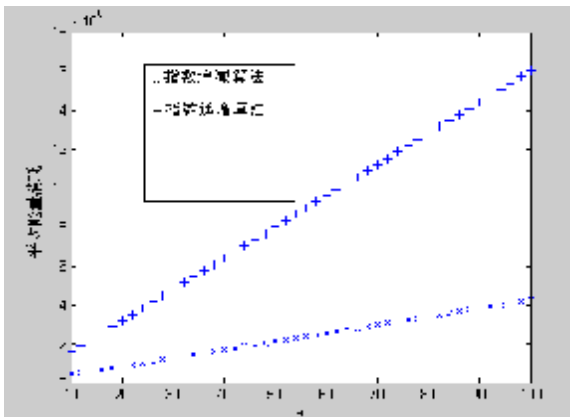


图3 各算法的平均消耗能量比较

此实验进一步说明：当 a 增大时，包达到速率越来越大，那么平均等待时间和平均能量消耗也自然越来越大。这是由 Pareto 函数决定的。由 Pareto 的概率密度函数可以得知：如果按递增的算法，后面的时间间隔变大，所占概率比重相对增大，进而导致在此时的平均时延增大。按递减算法，后面大部分是按最小的时间增长，虽然前面是从最大值开始递减，但是按最大的情况在所有情况中只有一个，所占比重很小。故总体上，递减算法的平均等待时延比递增算法好，平均能量消耗也比递增算法的少。

4 结论

论文针对 IEEE802.16e 休眠模式，提出了一种基于自相似流的指数递减休眠算法，在不大量损耗功率消耗的情况下，大大降低移动站点的响应时间。论文基于概念统计理论分析了指数递减休眠算法的性能，并同时与指数增长休眠算法进行了性能比较分析。理论与实验表明指数递减算法的性能在平均能耗与平均响应时间都要优于指数增长休眠算法，更加适合于具有实时性要求的低业务量业务需求。

参考文献

- 1 IEEE 802.16e/D1022005. 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.
- 2 Xiao Y. Energy saving mechanism in the IEEE 802.16e

wireless MAN. IEEE Communications Letters, 2005, 9(7):595-597.

- 3 刘利, 李津生, 洪佩琳. IEEE 802.16e 休眠模式算法的研究和改进. 计算机学报, 2007, 30(1):146-152.
- 4 Seo JB, Lee SQ, Park NH, Lee HW, Cho CH. Performance Analysis of Sleep Mode Operation in IEEE802.16e. Proc. IEEE Vehicular Technology Conference 2004, 1169-1173.
- 5 Zhang Y. Performance Modeling of Energy Management Mechanism in IEEE 802.16e Mobile WiMAX. Communications and Networking Conference, 2007. WCNC 2007. IEEE 3205-3209.
- 6 Kim MG, Kang M, Choi JY. Analysis of the Sleep Mode in the IEEE802.16e WMAN. ICACT2007, 602-605.
- 7 Jung WJ, Ki HJ, Lee TJ, Chung MY. Adaptive Sleep Mode Algorithm in IEEE 802.16e. Proc. of Asia-Pacific Conference on Communications 2007. APCC 2007. IEEE. 483-486.
- 8 Kim MG, Choi JY, Kang M. Adaptive power saving mechanism considering the request period of each initiation of awakening in the IEEE 802.16e system. IEEE Communications Letters, 2008, 12(2):106-108.
- 9 Jahn R, Routhier S. Packet trams—Measurements and a Flew model for network traffic. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1986, 4(6):986-995.
- 10 Gusella R. A Measurement study of diskless workstation traffic on an Ethernet. IEEE Trans Communications, 1990, 38(9):1557-1568.
- 11 Fowler H J, Leland W E. Local area network traffic characteristics, with implications for broadband network congestion management. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1997, 9(7):1139-1149.
- 12 Danzig P, Jamin S, Caceres R. An empirical workload model for driving wide area TCP / IP network simulations. Internetworking. Research & Experience 1992, 3(1):1-26.
- 13 Almhana J, Liu Z, Li C, McGorman R. Traffic Estimation and Power Saving Mechanism Optimization of IEEE 802.16e Networks. Proc of IEEE ICC, 2008. 323-326.
- 14 施建俊, 诸鸿文. Pareto 分布在 TELNET 客户端流量建模中的应用. 计算机研究与发展, 2006, 6:836-839.