

IEEE 802.16e 节能类型 III 的性能分析

韩 丽, 金顺福, 李然然, 李博光

(燕山大学信息科学与工程学院, 秦皇岛 066004)

摘 要: 基于 IEEE 802.16e 节能类型 III 的工作原理, 考虑用户触发数据的无后效性, 建立一个带有多重休假的 Geom/G/1 排队模型。利用嵌入式马尔可夫链方法推导出该排队系统的稳态指标, 相应给出数据帧平均响应时间、能量节省率等性能指标的表达式。构造一个综合考虑能量节省与系统响应时间的成本函数, 通过数值例子说明系统性能指标对休眠窗口长度的依赖关系, 给出不同负载下休眠窗口长度的最优值。

关键词: 节能类型 III; 休眠模式; 多重休假排队系统

Performance Analysis for Power Saving of Type III in IEEE 802.16e

HAN Li, JIN Shun-fu, LI Ran-ran, LI Bo-guang

(College of Information Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004)

【Abstract】 Based on the mechanism for power saving of type III in IEEE 802.16e, this paper takes into account the memoryless nature of user initiated packet arrival, to build a Geom/G/1 queue with multiple vacation. By using an embedded Markov chain method, some queue system measurements are derived. Correspondingly, the formula of system measures in terms of the average packet response time and energy saving ratio are presented. Considering both the energy saving and the system response time, it develops a cost function. Numerical results are given to demonstrate the dependency relationships between the system measures and sleep length, and the optimum lengths of sleep mode for different offered loads are given.

【Key words】 power saving of type III; sleep-mode; multiple vacation queueing system

1 概述

随着多媒体业务的不断增加及用户移动需求的逐步提高, 计算机通信技术的发展呈现宽带移动化及移动宽带化的趋势。移动无线宽带接入技术应运而生, IEEE 802.16e 成为新一代移动无线宽带网络的标准, 该标准中移动站(Mobile Station, MS)的节能策略成为研究热点。

在 IEEE 802.16e 标准颁布的同时, 有关 MS 节能策略算法的改进及性能分析工作也在同步进行。文献[1]分析了休眠模式指数增长算法, 假设 MS 中数据帧的到达服从 Poisson 分布, 针对不同的参数分析了指数增长算法的性能, 并给出了数据帧平均响应时间及能量平均消耗的表达式。文献[2]通过系统仿真刻画了节能类型 I 的平均能量消耗率及平均响应时间随数据帧的到达率及数据帧的传输时间分布变化的趋势。文献[3]得出了“休眠模式适用于对响应时间要求比较高的数据业务”的结论。文献[4]研究了节能类型 I、类型 II 和类型 III 组合方式下 MS 的平均能量消耗和平均能量节省率问题, 提出了基于参数配置变化的休眠模式性能评估及优化方法。

已有的文献大多基于连续时间对节能类型 I 和类型 II 进行研究, 而对节能类型 III 的研究仍然停留在标准制定的阶段。本文引用多重休假(multiple vacation)和空竭服务(exhaustive service)的 Geom/G/1 排队模型(简记为 Geom/G/1 排队模型)对节能类型 III 进行性能分析。

2 节能类型 III 工作机制及排队模型的建立

节能类型 III 适用于组播连接和管理操作业务, 如: 周期性测距, 连接的建立、改变和撤消。

移动站 MS 进入休眠模式前, 先向基站(Base Station, BS)发送休眠申请消息, BS 收到该请求消息后向 MS 发送休眠应答消息, MS 收到该响应消息后进入节能模式。当基站 BS 认为组播业务不会到达时, 一直为 MS 分配休眠窗口。休眠窗口超时后系统自动进入工作模式的辅助工作期从事辅助工作。辅助工作期结束后, 若系统缓冲区为空, 系统将进入休眠模式; 若缓冲区不为空, 系统将进入数据传输期, 即系统连续传输数据帧的时期。

本文基于节能类型 III 的工作原理建立带有 2 种休假机制且休假期长度固定的 Geom/G/1 模型。其中, 每个要传送的数据帧抽象为要接受服务的顾客; 传输的信道抽象为服务台; 休眠模式抽象为一个休假期, 记为 V_1 ; 工作模式的辅助工作期抽象为另一个休假期, 记为 V_2 , 设 $V = V_1 + V_2$; 工作模式的数据传输期抽象为忙期, 记为 B_v ; 从一个数据传输期结束进入休眠模式到下一个数据传输期结束这段时间抽象为忙循环, 记为 R_v 。

3 排队模型的分析

Geom/G/1 系统采用先到先服务(First In First Out, FIFO)

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“DAS 模型下视图发布安全问题的研究”(60773100)、“工作休假排队系统的理论、方法及应用”(10671170); 河北省自然科学基金资助项目“IEEE 802.16e 移动终端节能策略的建模、分析与优化”(F2009000475)

作者简介: 韩 丽(1983 -), 女, 硕士, 主研方向: 无线网络性能分析; 金顺福, 教授; 李然然、李博光, 硕士

收稿日期: 2009-09-08 **E-mail:** jsf@ysu.edu.cn

排队规则,数据帧的到达间隔和服务时间相互独立,数据帧的到达遵循参数为 $p(0 < p < 1)$ 的 Bernoulli 过程,数据帧的服务时间 S 独立同分布, S 的概率分布和母函数(Probability Generation Function, PGF)分别表示为

$$P\{S = j\} = s_j, j = 1, 2, \dots; S(z) = \sum_{j=1}^{\infty} s_j z^j$$

设 Q_B 表示由休眠模式进入工作模式后缓冲区中的数据帧数,其概率分布、PGF 及均值分别为

$$P\{Q_B = j\} = \frac{\binom{V}{j} p^j \bar{p}^{V-j}}{1 - \bar{p}^V}, j = 1, 2, \dots \quad (1)$$

$$Q_B(z) = \sum_{j=1}^V z^j P\{Q_B = j\} = \frac{(\bar{p} + pz)^V - \bar{p}^V}{1 - \bar{p}^V} \quad (2)$$

$$E[Q_B] = Q_B'(1) = \frac{pV}{1 - \bar{p}^V} \quad (3)$$

Geom/G/1 系统中数据帧离去时刻作为嵌入点,形成嵌入马尔可夫(Markov)链。定义系统负载 $\rho = pE[S]$, 当 $\rho < 1$ 时,系统可以达到稳定状态,其稳态指标分析如下。

(1) 稳态等待时间

设 Geom/G/1 系统中数据帧的稳态等待时间为 W , W 可分解成独立和 $W = W_0 + W_d$ 。其中, W_0 对应经典无休假系统的等待时间; W_d 是多重休假引起的附加延迟; W_0 的 PGF^[5] 及均值表示为

$$W_0(z) = \frac{(1-\rho)(1-z)}{(1-z) - \rho(1-S(z))}, |z| < 1 \quad (4)$$

$$E[W_0] = \frac{pE[S(S-1)]}{2(1-\rho)} \quad (5)$$

由边界状态变体定理^[5]可得附加延迟 W_d 的 PGF 为

$$W_d(z) = \frac{p(1-Q_B(1-p^{-1}(1-z)))}{E[Q_B](1-z)} = \frac{1-z^V}{V(1-z)} \quad (6)$$

对式(6)求导并令 $z=1$, 得 W_d 的均值如下

$$E[W_d] = \frac{V-1}{2} \quad (7)$$

结合式(4)和式(6), 可得 W 的 PGF 为

$$W(z) = W_0(z)W_d(z) = \frac{(1-\rho)(1-z^V)}{V((1-z) - \rho(1-S(z)))} \quad (8)$$

结合式(5)和式(7), 可得 W 的均值为

$$E[W] = E[W_0] + E[W_d] = \frac{pE[S(S-1)]}{2(1-\rho)} + \frac{V-1}{2} \quad (9)$$

(2) 忙循环

一个忙循环 R_V 由一个忙期 B_V 和若干个休假期 V_1 及休假期 V_2 构成, 设 J 表示系统进入忙期前所要经历的休假期 V_1 (或 V_2) 的次数, 则 J 的概率分布、PGF 及均值分别为

$$P\{J = j\} = (\bar{p}^V)^{j-1} (1 - \bar{p}^V), j = 1 \quad (10)$$

$$J(z) = \sum_{j=1}^{\infty} P\{J = j\} z^j = \frac{z(1 - \bar{p}^V)}{1 - \bar{p}^V z} \quad (11)$$

$$E[J] = J'(1) = \frac{1}{1 - \bar{p}^V} \quad (12)$$

令 B_V 表示系统的忙期长度, 则 B_V 的均值为

$$E[B_V] = \frac{E[Q_B]E[S]}{1-\rho} = \frac{V\rho}{(1-\bar{p}^V)(1-\rho)} \quad (13)$$

综合式(13)和式(14), 忙循环 R_V 的均值为

$$E[R_V] = E[B_V] + E[J]V = \frac{V}{(1-\bar{p}^V)(1-\rho)} \quad (14)$$

4 节能类型 III 的性能指标及数值例子

4.1 节能类型 III 的性能指标

能量节省率 γ : 系统处于休眠状态的概率, 它是衡量节能类型 III 节能效率的另一个重要参数, 表达式如下:

$$\gamma = \frac{E[J]V_1}{E[R_V]} = \frac{V_1(1-\rho)}{V}$$

数据帧平均响应时间 $E[T]$: 从数据帧到达系统起直到数据帧结束传输离开系统为止的这段时间, 即平均等待时间与平均传输时间之和, 它是衡量系统 QoS 的一个重要指标, 其表达式如下:

$$E[T] = E[W^+] + E[S] = \frac{pE[S(S-1)]}{2(1-\rho)} + \frac{V-1}{2} + E[S]$$

4.2 数值例子

参照文献[2]中的参数设置, 设 $E[S]=4, V_2=3$, 当系统负载 $\rho=0.4, 0.6, 0.8$ 时, 休眠窗口长度 V_1 对能量节省率 γ 及数据帧平均响应时间 $E[T]$ 的影响如下: 能量节省率 γ 随休眠窗口长度 V_1 变化的趋势如图 1 所示。在系统负载 ρ 一定的条件下, 休眠窗口长度 V_1 越长, 能量节省率 γ 越大。这是因为 V_1 越长, 系统处于休眠模式的时间越长, 系统能量消耗就越小。另一方面, 在休眠窗口长度 V_1 一定的条件下, 系统负载 ρ 越大, 能量节省率 γ 越小。这是因为 ρ 越大, 系统处在工作模式的时间越长, 系统能量消耗就越大。

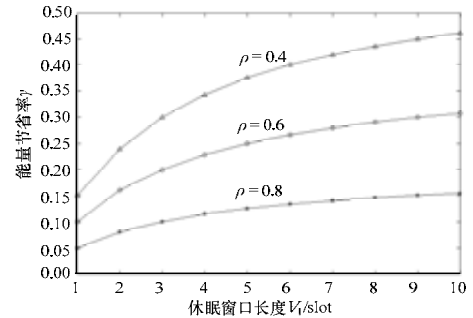


图 1 休眠窗口长度对能量节省率的影响

数据帧平均响应时间对休眠窗口长度 V_1 的函数依赖关系如图 2 所示。在系统负载 ρ 一定的条件下, 休眠窗口长度 V_1 越长, 数据帧平均响应时间越长。另一方面, 在休眠窗口长度 V_1 一定的条件下, 系统负载 ρ 越大, 数据帧平均响应时间越长。

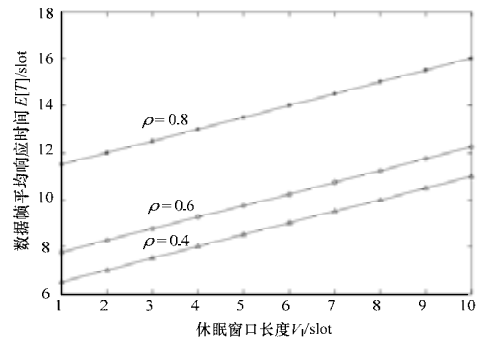


图 2 休眠窗口长度对数据帧平均响应时间的影响

综合以上 2 个数值例子可知, 能量节省率的提高是以牺牲系统响应时间为代价的。加大休眠窗口长度 V_1 将提高能量节省率 γ , 但会使数据帧的平均响应时间 $E[T]$ 加大, 降低系统的响应性能; 减小休眠窗口长度 V_1 将使数据帧的平均响应时间 $E[T]$ 变小, 但又会使能量节省率 γ 下降, 影响系统的节省效果。合理设置休眠窗口长度 V_1 成为该节能机制的关键因素。据此构造成本函数 $F(V_1)$ 如下:

$$F(V_1) = \frac{C_1}{E[T_{V_1}]} + C_2(E[T_{V_1}] + E[B_{V_1}]) + C_3E[T]$$

C_1 \equiv 休眠模式的能量消耗对成本的影响因子。

C_2 \equiv 工作模式的能量消耗对成本的影响因子。

C_3 \equiv 数据帧平均响应时间对成本的影响因子。

采用以上数值例子中的参数, 并设 $C_1=3, C_2=100, C_3=2$, 成本函数 $F(V_1)$ 随休眠窗口长度 V_1 变化的趋势如图 3 所示。

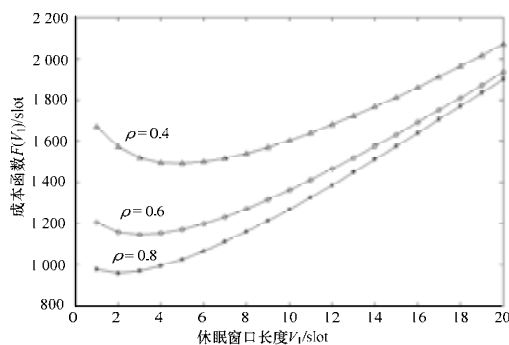


图 3 休眠窗口长度对成本函数的影响

分析图 3 可以看出, 对每一种系统负载 ρ , 均有一个休眠窗口长度 V_1 的最优值。在系统负载 ρ 一定的条件下, 当休眠窗口长度取最优值时, 成本函数值最小; 当休眠窗口长度

V_1 小于最优值时, 随着休眠窗口长度 V_1 的增加, 成本函数值呈下降趋势; 当休眠窗口长度 V_1 大于最优值时, 随着休眠窗口长度 V_1 的增加, 成本函数值呈上升趋势。

5 结束语

本文分析了 IEEE 802.16e 休眠模式中节能类型 III 的工作原理, 建立了带有 2 种休假机制且休假期长度固定的 Geom/G/1 排队系统。得出该排队系统的稳态指标, 对应地给出了节能类型 III 的能量节省率及数据帧平均响应时间等性能指标表达式, 通过数值例子分析了系统性能指标与系统参数配置之间的函数关系。综合考虑能量消耗和数据帧平均响应时间等因素, 构造了一个成本函数, 给出系统参数的优化配置方案, 为进一步进行 IEEE 802.16e 节能类型 III 的性能分析及算法改进提供了理论依据。

参考文献

- [1] Xiao Yang. Energy Saving Mechanism in the IEEE 802.16e Wireless MAN[J]. IEEE Communications Letters, 2005, 9(7): 595-597.
- [2] Xiao Yang. Performance Analysis of an Energy Saving Mechanism in the IEEE 802.16e Wireless MAN[C]//Proceedings of IEEE CCNC'06. Las Vegas, NV, USA: IEEE Press, 2006: 406-410.
- [3] Han Younhee, Min Sunggi, Jeong Dongwon. Performance Comparison of Sleep Mode Operations in IEEE 802.16e Terminals[C]//Proc. of ICCS'07. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2007: 441-448.
- [4] 董国军, 戴居丰. IEEE802.16e 的休眠模式性能评估与优化[J]. 计算机工程, 2007, 33(19): 10-12, 32.
- [5] 田乃硕, 徐秀丽, 马占友. 离散时间排队论[M]. 北京: 科学出版社, 2008.

编辑 张正兴

(上接第 116 页)

信息比例为 $(L \times 710)/(1\ 024 \times 60)$ 。图 5 显示了稳定环境下不同网络规模时 OXStreaming 和 CoolSteaming 的控制开销。与 CoolSteaming 约 1.5% 的控制开销相比, OXStreaming 约 7.5% 的控制开销增加了不少, 但减少了约 20% 的下载开销。

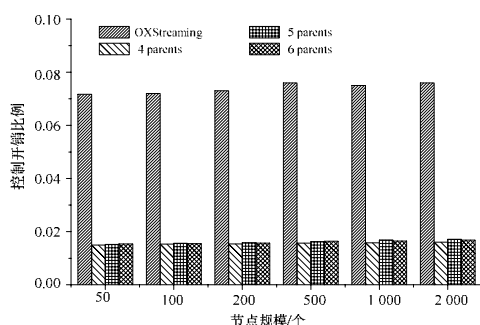


图 5 稳定环境下不同网络规模时的控制开销

5 结束语

本文在 Gossip 协议的基础上, 设计并实现了一个无结构的实时流媒体系统, 通过及早发现无效数据来降低网络负载。带限期作业调度模型的提出能较好解决数据分片过期的问题, 提高了播放连续度。本文没有考虑所提出的策略可能产生的节点处理复杂度的增加, 从而影响对 CPU 资源消耗方面

的性能, 同时由于条件的限制, 实验还未能能在真实网络环境中测试, 这些都将在下一步的工作中完成。

参考文献

- [1] 卢良进, 万健, 徐向华. 推拉结合的 P2P 直播系统研究与实现[J]. 计算机工程, 2008, 34(8): 240-242.
- [2] Zhang Xinyan, Liu Jiangchuan, Li Bo, et al. CoolStreaming/DONet: A Data-driven Overlay Network for Peer-to-Peer Live Media Streaming[C]//Proc. of IEEE INFOCOM'05. Hong Kong, China: IEEE Press, 2005.
- [3] Stutzbach D, Rejaie R, Sen S. Characterizing Unstructured Overlay Topologies in Modern P2P File-sharing Systems[C]//Proc. of International Measurement Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2005: 267-280.
- [4] 冯国富, 张金城, 姜玉泉, 等. 无结构 P2P 覆盖网络的拓扑优化[J]. 软件学报, 2007, 18(11): 2819-2829.
- [5] Li Zhenhua, Cao Jiannong, Chen Guihai. Continue Streaming: Achieving High Playback Continuity of Gossip-based Peer-to-Peer Streaming[C]//Proceedings of IEEE INFOCOM'08. Phoenix, AZ, USA: IEEE Press, 2008.
- [6] 余祥宣, 崔国华, 邹海明. 计算机算法基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2000.

编辑 张正兴