

文章编号: 1004—1478(2008) 03—0052—05

无线网络 MAC 协议中 RTS/CTS 机制的研究

李娜娜, 甘 勇, 贺 蕾, 冯 媛

(郑州轻工业学院 计算机与通信工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 从无线信道利用率的角度对无线局域网络的 RTS/CTS 机制进行性能仿真研究, 发现数据包负荷较大时, 机制对网络性能有正面影响, 数据包负荷较小时, 机制对网络性能有负面影响. 在评判 RTS/CTS 机制在无线网络接入协议中的影响作用时, 应将能量有效性作为系统主要性能指标. 此外, 还要考虑网络多跳的结构对机制的限制作用, 从跨层优化的角度分析无线信道接入机制.

关键词: RTS/CTS; CSMA/CA; MAC; 信道利用率

中图分类号: TP393.04 TN925.93

文献标志码: A

Research of RTS/CTS scheme in the MAC protocol of the wireless network

LINa-na, GAN Yong, HE Lei, FENG Yuan

(College of Comp and Com Eng, Zhengzhou Univ of Light Ind, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: From the viewpoint of wireless bandwidth efficiency, the performance of the RTS/CTS scheme in the wireless lan access network is researched. It is discovered that the RTS/CTS scheme has the positive impact on network performance when the size of the data packet is bigger and has the negative impact on network performance when the size of the data packet is smaller. The energy efficiency should be the main performance indicator when the influence of the RTS/CTS scheme with the wireless sensor network access protocol is analyzed. Meanwhile the limitation of multi-hop architecture should also be considered. The wireless channel access scheme should be analyzed from the viewpoint of cross-layer optimization.

Key words: RTS/CTS; CSMA/CA; MAC; bandwidth efficiency

0 引言

目前, 无线网络已经得到了广泛应用. 但是, 同有线通信信道相比, 无线信道条件恶劣, 更容易出现丢包、碰撞、重传等现象, 尤其是其中的任何传输都要依赖于共享的、开放的无线媒质, 使得无线网络付出更多的带宽损耗, 减少了网络的吞吐量. 因

此, 无线网络中 MAC 协议的性能对网络整体性能起着尤为重要的作用.

IEEE 802.11 标准^[1]定义了可选的 RTS/CTS (request to send/ clear to send) 机制, 通过联合虚拟载波侦听和物理载波侦听, MAC 协议实现了带有冲突避免的载波侦听多路复用 (carrier sense multiple access with collision avoidance, CSMA/CA) 的接入方

收稿日期: 2008—04—10

基金项目: 河南省教育厅自然科学基金项目 (2008A510018); 郑州市科技计划项目 (074SCG23109—2)

作者简介: 李娜娜 (1980—), 女, 河南省周口市人, 郑州轻工业学院助教, 硕士, 主要研究方向: 无线传感器网络.

法. 许多学者对 CSMA/CA 的性能进行了研究^[1-3], 但是却没有从信道利用效率的角度来考虑 RTS/CTS 机制对网络性能的影响. 本文从信道利用效率的角度对无线局域网的 RTS/CTS 机制进行性能仿真研究, 以期揭示出该机制对于无线网络的整体性能起正面和负面影响作用的原因.

1 RTS/CTS 握手机制

随着新技术的发展和人们对无线通信需求的快速增长, 无线局域网 (wireless local access network, WLAN) 成为近年来通信技术市场的亮点. WLAN 标准包括 IEEE 802.11b, IEEE 802.11a, IEEE 802.11g 等, 其中, IEEE 802.11b 标准已经成为业界主流标准.

IEEE 802.11b WLAN 标准包括 1 个大多数情况下默认配置采用的基本分布式协调功能 (basic distributed coordination function, DCF) 和 1 个可选的中心协调方式 (point coordination function, PCF). DCF 使用 CSMA/CA 机制作为基本的信道接入协议. 与传统的 CSMA 机制相比, WLAN 的 MAC 协议更倾向于使用冲突避免来实现顺畅的通信. 如果物理载波和虚拟载波侦听机制 (使用网络分配矢量 network allocation vector, NAV) 同时监测出无线信道空闲了分布式帧间间隔 (distributed inter frame space, DIFS) 长的时间间隔, 那么移动站就可以开始传输数据帧. 如果信道忙, 则必须启动退避算法. 启动 RTS/CTS 握手机制可以在各节点中设置相应的 NAV, 通过它来实现数据帧传输, 其流程见图 1.

2 RTS/CTS 机制对 WLAN 网络性能的影响

为了减少分析模型的复杂度, 假设无线信道是无差错的, 那么, 发送节点设备 MAC 层的数据负载在成功地接入到无线信道的过程中, 需要将该负载内容封装上 MAC 包头和 PHY 包头, 并且要避免冲突以顺利接入无线信道. 而真正在无线信道上传输的帧不仅仅有成功接入信道的数据帧, 还有各种管理和控制帧. 分别用 η_1 , η_2 , η_3 来表示上述 3 个方面的效率. 其中, η_1 为成帧效率, η_2 为冲突避免效率,

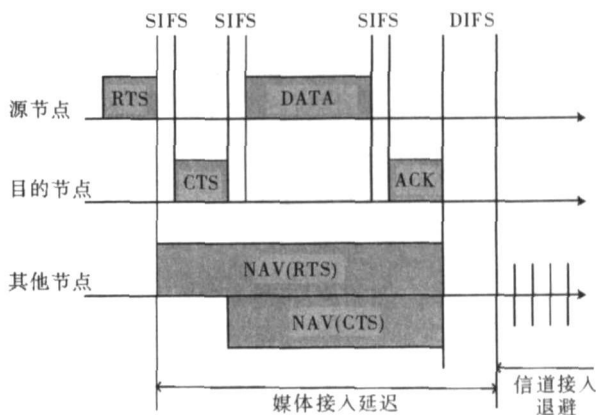


图 1 RTS/CTS 握手机制工作流程图

3 为信道共享效率.

$$\eta_1 = \frac{\text{帧有用数据传输时间}}{\text{帧总的传输时间}} \quad (1)$$

$$\eta_2 = \frac{\text{信道不发生冲突时间}}{\text{传输时间}}$$

$$\eta_3 = \frac{\text{每帧数据传输时间}}{\text{每帧传输平均所占用信道的的时间}}$$

因此, 无线信道的利用率可用下式来表示

$$\eta = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3$$

由式①可以看出, 对于一定大小的数据负荷来说, 成帧效率 η_1 完全取决于协议的 MAC 包头和 PHY 包头的大小, RTS/CTS 机制对 η_1 并不会产生任何影响. 然而, 采用 RTS/CTS 机制, 通过带宽预留机制, 便可以减少碰撞发生的概率, 即使发生碰撞, 也只是相对较短的控制包会发生碰撞, 避免了较长数据包发生碰撞, 提高了 η_2 . 与不使用 RTS/CTS 机制相比, 每发送 1 个数据帧就需要附加发送 2 个控制帧, 并多等待 T_{add} 间隔的时间, T_{add} 计算见式②.

$$T_{\text{add}} = \frac{RTS + PHY_{\text{header}}}{C} + \frac{CTS + PHY_{\text{header}}}{C} + 2SIFS \quad (2)$$

其中, 对于 IEEE 802.11b 来说, C 可取 1 Mb/s, RTS/CTS 帧大小分别为 20 B 和 14 B. 即采用了 RTS/CTS 机制尽管可以提高 η_2 , 但却是以降低 η_3 为代价的.

无线信道的利用率是衡量网络性能优劣的一个重要指标, RTS/CTS 机制通过信道共享效率 η_3 的降低, 减少碰撞概率, 提高冲突避免效率 η_3 , 最终提高了带宽利用率 η , 减少了数据包的时延. 这是 RTS/CTS 对网络性能的正面影响作用.

同时,从式②可知,如果数据包长度较小时也采用了 RTS/CTS机制,将导致产生与数据负荷相比不可忽视的控制负荷,使吞吐量下降.并且,随着 T_{ad} 时间的积累作用,数据包的时延很可能没有得到改善,甚至会进一步恶化.此时,RTS/CTS机制对于网络性能便表现出负面作用.此外,从式②还可以看出,RTS/CTS机制对网络性能正面和负面的影响作用不仅与所承载的数据包的大小有关,还与 PHY 包头大小、传输速率以及 SIFS 间隔有密切联系.

3 RTS/CTS机制仿真

3.1 仿真场景

系统仿真场景如图 2 所示.在 $200\text{ m}\times 200\text{ m}$ 的区域中,随机地分布着 N 台工作站 $\text{node}_1, \text{node}_2, \dots, \text{node}_N$. 节点设备的模型如图 3 所示.其中, `wireless_lan_mac` 模块实现的功能包括 MAC 层分片、ACK 确认、MAC 重传、支持 RTS/CTS 的 CSMA/CA 机制.物理层则采用设置 IEEE 802.11b 所对应的 DSSS 的相应参数来模拟实际的效果.物理层和 MAC 层所采用的参数设置如表 1 所示.

表 1 仿真参数

参数名称	参数取值	参数名称	参数取值
Slot Time	$20\text{ }\mu\text{s}$	Cw max	1023
SIFS	$10\text{ }\mu\text{s}$	Data Rate	1 Mb/s
HCPOverhead	$192\text{ }\mu\text{s}$	ShortRetry Limit	7
Cw min	31	LongRetry Limit	4

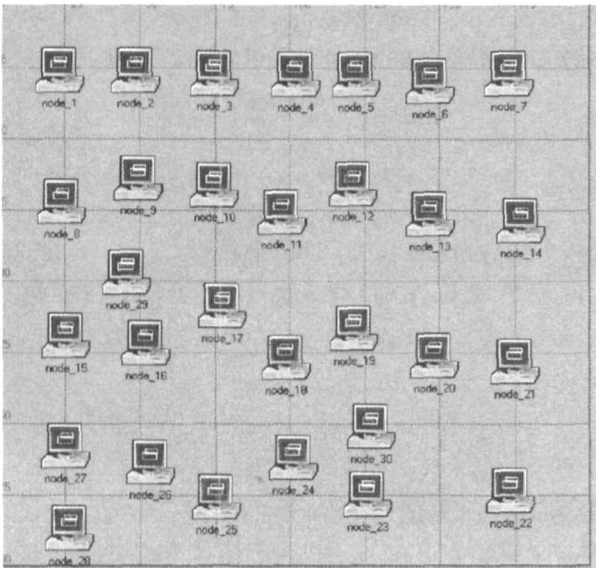


图 2 系统仿真场景示意图

图 3 中,模块 `source` 和模块 `sink` 分别完成上层数据的发送和接收功能,仿真中尽量确保业务的精确度,采用离散事件仿真机制来实现这个要求,每个封装包都经历整个协议栈.每个工作站发送数据包的时间间隔均服从指数分布,其均值为 λ ,且每个工作站都发送同样大小的数据包,其大小为 $P\text{ B}$.任意工作站的负载

$$\text{Load}_j = \frac{P \times 8}{\lambda} \tag{3}$$

其中, C 为无线网络的发送速率,在本仿真模型中采用 1 Mb/s ,则网络的负载为每个工作站负载总和,即

$$\text{TotalLoad} = \sum_{i=1}^n \text{Load}_j$$

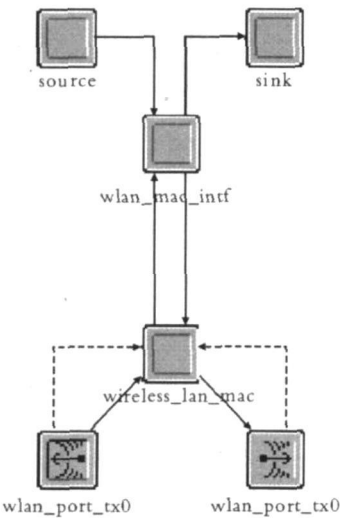


图 3 工作站设备模型示意图

3.2 仿真结果与分析

图 4 和图 5 是当发送的数据包大小 P 为 512 B 时,随着网络负载不断变化得到的网络吞吐量性能和媒体接入时延性能曲线.

可以看出,在不采用 RTS/CTS 机制的条件下,当网络负载较小时,网络的吞吐量与网络负载基本相同,在网络负载为 60% 时吞吐量达到最大值 0.596 Mb/s .随着网络负载的继续加大,网络的吞吐量性能并没有得到提高.当网络负载较小时,网络的吞吐量性能与不采用 RTS/CTS 机制时情况基本相同,在网络负载为 60% 时,吞吐量达到第 1 个较大值 0.598 Mb/s .值得注意的是,随着网络负载的继续加大,网络的吞吐量性能得到了很大改善,在网络负载为 110% 时,吞吐量达到了最大值 0.679 Mb/s .

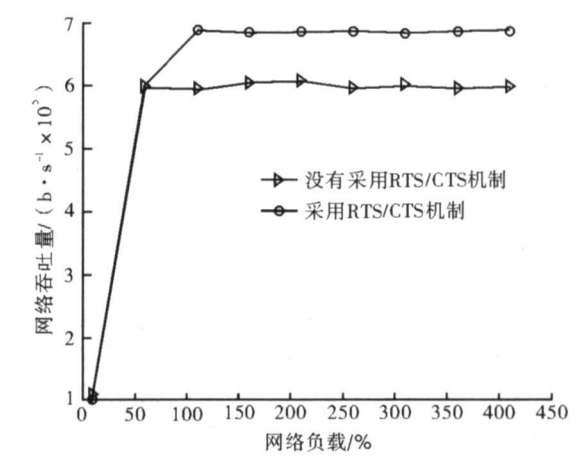


图 4 P=512 B时的网络吞吐量性能曲线

由此可见, 当 P 为 512 B 时, 采用 RTS/CTS 机制, 能够起到改善网络吞吐量性能的作用, 主要原因是该机制可以对无线媒质接入进行预留, 避免了数据包的碰撞以及重传, 从而提高了冲突避免的效率, 减少了信道接入延时, 但是获得吞吐量性能改善付出的代价是要发送附加的控制帧 RTS 帧和 CTS 帧.

图 6 和图 7 是当发送的数据包大小 P 为 128 B 时, 随着网络负载不断变化得到的网络吞吐量性能和媒体接入时延性能曲线.

可以看出, 当网络负载较小时, 随着网络负载的增大, 网络的吞吐量不断增加, 但其增速明显低于 P=512 B 时同等负载下网络的吞吐量的增速. 并且, 当网络负载大于 53% 时, 采用 RTS/CTS 机制进行数据包的传输将会导致网络吞吐量性能与不采用该机制时有了较大程度的恶化. 同时, 此时的信道接入时延比不采用该机制时还要略微大一些. 产生这种现象的原因, 不仅仅是因为每发送 1 个 128 B

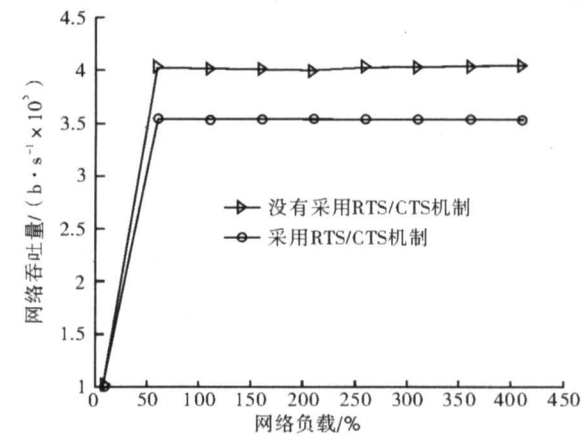


图 6 P=128 B时的网络吞吐量性能曲线

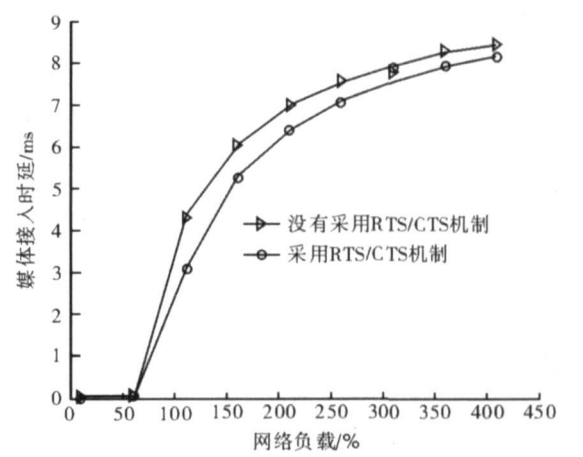


图 5 P=512 B时的媒体接入时延性能曲线

的数据负荷则需要封装上 (16+8+34) B 的包头, 数据成帧效率 η_1 较低, 而且是由于采用了 RTS/CTS 机制, 在对一个仅仅只包含 128 B 的数据负荷竞争信道时, 却要附加发送至少 1 个或者 n 个 RTS/CTS 控制帧 (大小分别为 44 B 和 38 B) 以及 2 个或者 $2n$ 个 SIFS 间隔的等待时间. 这种控制包负荷以及 T_{ad} 间隔的累积作用造成了网络吞吐量性能和信道接入时延性能的恶化.

4 结论

在承载的数据包负荷较大的情况下, 采用 RTS/CTS 机制可以通过降低信道共享效率 η_3 来获得信道冲突避免效率 η_2 的增益, 进而得到较好的网络吞吐量和媒体接入时延性能. 表现出该机制对网络性能正面的影响作用. 然而, 在数据包较小的情况下, 采用 RTS/CTS 机制, 尽管可以提高数据包冲突避免的效率 η_3 , 但却会造成信道共享效率的急速下降, 最终导致信道利用率 η 的恶化, RTS/CTS 机制对网

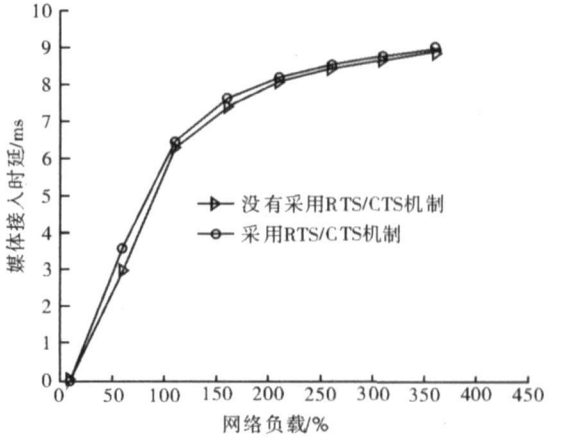


图 7 P=128 B时的媒体接入时延性能曲线

络性能的负面影响作用就凸显出来了.

近年来,无线传感器网络成为发展最为迅猛的通信系统和信息网络之一,它采用分布式的节点设备自组织地协调完成某项任务,IEEE 802.15工作组为其制定了低速无线个域网(LR-WPAN)所遵循的PHY和MAC层协议标准IEEE 802.15.4.该标准的无线信道接入机制仍然采用了CSMA/CA机制,但是却并没有采用RTS/CTS的握手通信机制.对于RTS/CTS机制在该网络接入协议中的影响作用,不仅要考虑无线传感器网络将能量有效性作为系统主要性能指标,而且还要考虑网络多跳的结构对该机制的限制作用.考虑利用跨层优化的角度来

分析无线信道接入机制.

参考文献:

- [1] Bianchi G. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(3): 535.
- [2] Zouva E, Antonakopoulos T. CSMA/CA Performance under high traffic conditions: throughput and delay analysis[J]. Computer Communications, 2002, 25: 313.
- [3] Fun Y, Shian-Tsong Sheu, Tobias Chen. The impact of RTS threshold on IEEE 802.11 MAC Protocol[J]. Tamkang Journal of Science and Engineering, 2003, 6(1): 57.

(上接第44页)

由表1可以看出,刚开始记录数量很少时,两者查询时间大体相等,但是随着记录数量的增加,相同的记录下SQLite查询用时明显少于MySQL.由此可见,SQLite查询性能优于MySQL.采用内存数据库能提高实时查询模块的效率.

4 结语

内存数据库在电信业的应用尚处于起步阶段,但是大量的研究证明内存数据库的引入确实能提高支撑系统的性能.本文将内存数据库与传统数据库结合,提出新支撑系统计费 and 查询模型,对改进后的实时查询模块查询时间进行比较,新方法极大地缩短了查询时间.可以预见,随着内存数据库技术的发展,成熟的产品大量涌现,它在电信业必将广泛应用,为传统的业务模式和技术的改进提供条件,从而更好地满足人们对速度和实时性的需求.

参考文献:

- [1] 杨武军,张继荣,屈军锁.内存数据库技术综述[J].西安邮电学院学报,2005,10(3): 96.
- [2] 刘云生.现代数据库技术[M].北京:国防工业出版社,2001: 251.
- [3] 易国洪.内存数据库中恢复技术研究[J].科技广场,2007,10(3): 106.
- [4] 葛俊杰.一种实时内存数据库的重装与恢复算法[J].烟台职业学院学报,2006,12(4): 48.
- [5] Abraham Silberschatz, Henry Korth, Sudarshan S. 数据库系统概念[M].北京:机械工业出版社,2002: 454.
- [6] 于秀丽,魏世民.电信行业的Altibase内存数据库的应用[J].科技广场,2006,9(3): 56.
- [7] 朱勇,张炯,沈轶.内存数据库在移动计费系统中的应用[J].现代机械,2007,4(5): 73.
- [8] 王冠宇,关永,赵冬生. Java在SQLite嵌入式数据库中的应用[J].微计算机信息,2006,22(2): 95.