

自适应 IEEE802.11 PCF 调度算法^{*}

廖勇 杨士中 徐昌彪

(重庆大学通信工程学院 重庆 400044)

摘要 本文在研究现有无线局域网 IEEE802.11 PCF(Point Coordination Function)调度算法基础上,提出一个自适应 PCF 算法的解决方案。该算法通过使用队列调度来实现 CFP(Contention Free Period)阶段 PC 和站点之间的消息服务,站点之间的服务顺序可以根据实时需求动态改变;对来自站点大量高速率发送的数据,调度器采用队列缓冲区尾部丢弃策略来缓解网络拥塞。通过对比定性的分析了此算法与单轮询算法在 CFP 帧传输的性能差异,得到在系统吞吐率以及平均包延迟上本文提出的算法能提供更好的 QoS。

关键词 无线局域网,PCF,自适应,队列调度,丢弃策略,QoS

Adaptive Scheme on IEEE 802.11 PCF

LIAO Yong YANG Shi-Zhong XU Chang-Biao

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044)

Abstract On the basis of WLAN IEEE802.11PCF (Point Coordination Function)schemes in this paper, an adaptive PCF scheme is proposed for un-solved problems. It deals with message service between PC and stations by queue scheme during the CFP(Contention Free Period), the service orders among the stations can change with the real time requirement dynamically. For the large quantity of messages sent by the stations in high speed, the system is appointed to ease network congestion by discarding the tail part of queue buffer. According to the comparison and qualitative analysis of this scheme and single poll scheme, which are different from each other on the performance of CFP frame transmit. The result is that a better QoS of the system throughput rate as well as average packet delay will be provided by the scheme proposed in this paper.

Keywords WLAN, PCF, Adaptive, Queue sheme, QoS

1 引言

IEEE 802.11 标准有两种信道接入方法^[1]:分布式协调功能(DCF, Distributed Coordination Function)和点协调功能(PCF, Point Coordination Function)。DCF 通过载波侦听多路访问/冲突避免(CSMA/CA, Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)机制,为异步数据传输提供分布式的基于竞争的信道访问;PCF 通过轮询(Polling)机制为实时业务提供无竞争的服务。为了对实时业务提供服务质量 QoS(Quality of Service)保证,人们在 DCF 基础上做了很多基于优先级区分的改进,但在 PCF 基础上所做的研究较少。这是因为 PCF 是一种可选模式,大多数无线网络产品不支持 PCF。不过,由于 PCF 具有面向连接的特点,更适合为交互实时应用提供良好的 QoS 保证。

迄今为止,人们在 PCF 调度机制方面已做了一些试探性的研究,提出了多种方案^[2~8]:A. Ganz^[2]提出的 Superpoll, E. Ziouva^[3]提出的 CS(Cyclic Shift Polling Scheme),N. S.-C. Lo^[4]提出的 CP-MP(Contention Period Multipolling),以及 Yi-Wen Lan^[5]提出的 AWFQ(Asymptotic Weighted Fair Queuing)等,都不同程度地改善了系统的性能。

本文在研究已有算法的基础上,提出一种新的 PCF 算法:自适应调度算法。这个算法可以提高 BSS(Basic Stations

Set)中 PC 和 Stas(Stations)之间传输的 QoS,加强消息(Control,Management 和 Data)传输的公平性和实时性,改善了在数据包急剧增加的恶劣环境下 PC 和站点的拥塞程度。

2 IEEE 802.11 PCF

DCF 只能提供尽力而为(Best-Effort)的服务,无法满足实时业务对延迟和抖动等指标的需求。为了提供延迟受限的服务,IEEE 802.11 标准在 DCF 的基础上定义了点协调功能(PCF, Point Coordination Function)。PCF 的基本原理是利用点协调器(PC, Point Coordinator)对节点进行轮询,集中控制介质的访问。PCF 只能应用于有基础设施的无线局域网中,通常由接入点 AP(Access Point)来担任点协调器。

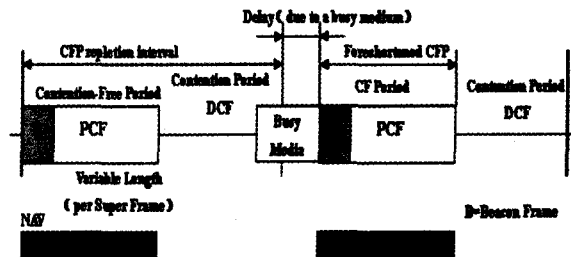


图1 超帧结构

^{*} 国家发改委 CNGI2005 示范工程项目(CNGI-04-4-2D);重庆市教委科学技术研究项目(040507);重庆市科委自然科学基金项目(CSTC, 2006BB2164)。廖勇 硕士研究生,研究方向:无线网络通信;杨士中 中国工程院院士,博士生导师,教授,研究方向:无线网络通信、测控及遥感信息传感;徐昌彪 博士后,副教授,研究方向:宽带无线接入、网络性能分析。

PCF 以超帧为周期来进行数据帧的发送,每个超帧周期包括一个无竞争阶段(CFP, Contention-Free Period)和一个竞争阶段(CP, Contention Period)。CFP 阶段传输实时业务,PCF 起作用;CP 阶段传输非实时业务,DCF 起作用,如图 1 所示。

3 自适应 PCF 调度算法

3.1 算法核心思想

这个算法充分考虑了无线网络拥塞的情况,参考了队列调度算法^[9~15],提出一套自适应 PCF 队列调度方案,主要包括队列间和队列内部管理。

所有队列主要划分为两大类,如图 2 所示。一个是 PC 到站点的消息队列,即 PC→Stas,一个是在 CFP 阶段有消息传输的各个站点的队列组 Stas→PC。

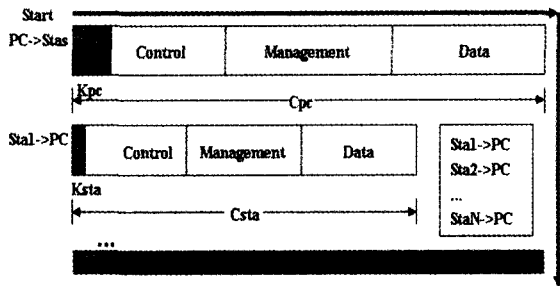


图 2 自适应 PCF 调度算法

以下是算法中自定义名词解释:

(1) 定义 MTU (Maximal Transmission Unit, 在 IEEE802.11 中,没有加密最大的传输单元是传输 2304 字节,加密之后的是 2312 字节)为 2304 字节,并作为基本处理单元。

(2) Kpc 是 PC 在 CFP 阶段一次在消息队列执行的 MTU 数, Ksta 是有消息传输站点一次执行的 MTU 数。为了能缓解 CFP 阶段有帧传输的站点大量向 PC 传输数据,导致 PC 不能正常有效地处理缓冲区里面的数据,以及 PC 在 CP 阶段接收到的大量通过竞争信道获得媒体使用权的站点向自己发送的帧数据,规定 $N \leq Kpc \leq M$ (N 是 CFP 阶段有帧传输的站点总的数目, M 是 BSS 所有向 PC 注册关联的站点数目,包括 CFP 阶段有数据传输的站点、以及这个阶段没有数据传输的站点)。

(3) Cpc 是 PC 缓冲区容量, Csta 是站点容量,基本存储单元都是 MTU。为了保证 PC 和有数据传输站点尽量减少拥塞,规定 Cpc 的最大值为 CpcMAX, Csta 的最大值为 CstaMAX。由于 PC 在 CFP 阶段的关键性, CpcMAX 的数值要大于 CstaMAX。考虑多站点多数据包的情况,对 PC 缓冲区最低要求是 $CpcMIN \geq M * CstaMIN$ 。

3.1.1 PC、Stas 队列间服务

调度器排序策略规定如下:在系统初始化之后(即 PC 上电、重启或者复位),PC 队列保持最先调度。对剩下的 Stas→PC 队列组,依据在 CP 阶段注册需要在 CFP 阶段进行数据传输请求的先后顺序确定,即需要在 CFP 阶段请求传输时间最早的站点排在 Sta1→PC,时间稍微的排在 Sta2→PC,依次类推。

队列间的动态服务顺序:先服务 PC 队列,然后依次服务有数据传输的所有站点队列。如果在一个 CFP 时间段内,把

所有的站点都服务完毕, CF_End 还没有到,那么从 PC 开始重新服务。如果在服务过程中,服务到某个站点(或者 PC) CF_End 时间到,那么则在此做上标记。在 CP 阶段如果这个站点没有获得媒体使用权,那么在接下来的 CFP 期间继续从标记数据处继续传送。如果在 CP 阶段这个站点获得媒体使用权,并且已经和 PC 进行了数据传输,或者是站点已经直接把数据传输到目的站点(非 PC),那么进入 CFP 阶段,就不必再从这个站点续传,而是把传输权利赋予下一个站点队列进行数据传输,这个站点是在前一轮 CFP 阶段排在中断传输站点队列的下一个站点。

对移动站点的处理,分为以下几种情况:

(1) 如果在 CFP 阶段有移动站点加入 BSS,与 PC 建立关联,那么此移动站点有数据传输要求,在 CF_End 没有结束之前,将加入 Stas→PC 的队列组,并且置于队列组的尾部。

(2) 如果在 CFP 建立了关联没有数据传输,则将在 CP 阶段按照 DCF(Distributed Coordination Function)竞争信道。

(3) 移动站点在 CFP 阶段要离开,只需单方面的发送去关联帧即可。如果这个站点之前处于 Stas→PC 队列组里面,那么处于这个站点队列后面的站点位置向前前进一步。

3.1.2 队列内部服务

由于 PC→Stas 队列和 Stas→PC 队列组的策略实质上是一样的,这里只分析 PC→Stas 队列内部的管理。

(1) 具有相同数据类型的帧、不同传输目的的站点,按照发送到站点的数据单元的长短进行排序,短数据帧目的站点排在队列的前面。如果在相同类型的情况下,数据帧的长短相同,目的站点不同,那么按照要发送数据的时间程度来决定排序准则,在 PC 队列面暂存时间最久的将被首先考虑。具有不同类型的帧、相同目的的站点,首先考虑处理此目的的站点的 Control,其次是 Management,最后是 Data。

(2) 如果三种类型的帧都暂存数据在 Cpc 里面,那么当 PC 队列执行时, CF_End 没有到来之前,即使控制帧没有传输完,不会继续传输控制帧,转而传输 Management 帧。如果 CFP 还没有结束,那么继续传输 Data 帧。每个类型的帧不能联系的传输超过 2^0 次方。任何两种类型并存时,每种类型的连续执行次数可以为 2^1 次方。只有某一类型帧时,可以连续执行的次数可达 2^2 。

(3) 队尾数据丢弃策略:对于 PC 队列进行数据传输时,如果在 CP 阶段有足够多的站点与 PC 进行数据传输,可能会导致 Cpc 在 CFP 阶段达到最大状态 CpcMAX,从而导致 CP 阶段的其他想传输数据的站点丢包,或者在 CFP 阶段打算传输数据帧到 PC 的站点丢包。还有一种发生丢包的现象就是,CP 阶段缓存到 PC 的数据没有装满 Cpc 到最大容量 CpcMAX,但是在 CFP 阶段由于有其他站点不断地传输到 PC,从而导致 PC 缓冲区的容量达到 CpcMAX。同时,PC 会通知发送端减缓发送包的速率,以减缓 PC 队列数据拥塞恶化的趋势。在当前 CFP 阶段,PC 队列正在进行传输时, CF_End 时间到,PC 会在此数据帧做上标记。在 CP 阶段如果 PC 没有获得媒体使用权,那么在接下来的 CFP 期间继续从标记数据处继续传送。如果在 CP 阶段 PC 获得媒体使用权,并且已经和之前的目的站点进行了数据传输,那么进入下一个 CFP 阶段,就不必再从这个站点续传,而是把传输权利赋予下一个目的站点队列进行数据传输,这个站点是在前一轮 CFP 阶段排在中断传输站点队列紧接站点。

(下转第 55 页)

论和大量实验表明,可重写循环滑动窗口在不增加内存使用量的前提下,能够显著地减少窗口的滑动时间,提高数据流处理系统的效率。

今后的进一步工作是将可重写循环模型集成到现有的数据流处理系统中,加快数据流处理系统的底层处理。

参考文献

- 1 Anita D, Jasnusz G. Conceptual Modeling of Computations on Data Streams [C]. In: the 2nd Asia-Pacific Conf on Conceptual Modeling (APCCM2005). Newcastle, Australia, 2005. 43~48
- 2 Babcock B, Bahu S, Dater M, et al. Models and Issues in Data Stream Systems [C]. In: Proceedings of the 21st ACM Symposium on Principles of Database Systems, 2002. 1~16
- 3 Keogh E, Chakrabarti K, Pazzani M. Locally adaptive dimen-

sionality reduction for indexing large time series databases [C]. In: Proc. of ACM SIGMOD Conference on Management of Data, 2001. 151~162

- 4 Keogh E, Pazzani M. A simple dimensionality reduction technique for fast similarity search in large time series databases [C]. In: 4th Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD), Kyoto, Japan, 2000. 122~133
- 5 Muthukrishnan S. Data streams algorithms and applications [C]. In: Proc. of the 14th Annual ACM-SLAM Symposium on Discrete Algorithms. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2003. 413~413
- 6 Rajeev M, Jennifer W, Arvind A, et al. Query Processing, Approximation, and Resource Management in a Data Stream Management System [C]. In: Proc. of Conf on Innovative Data Syst, Res, 2003. 245~256
- 7 钱江波, 徐宏柄, 王永利, 等. 多数据流滑动窗口并发连接方法 [J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(10): 1771~1778

(上接第 47 页)

Sta→PC 队列组内部的管理策略实质和 PC→Stas 实质是一致的,不再重复。

3.2 自适应和单轮询算法在 CFP 传输帧的比较

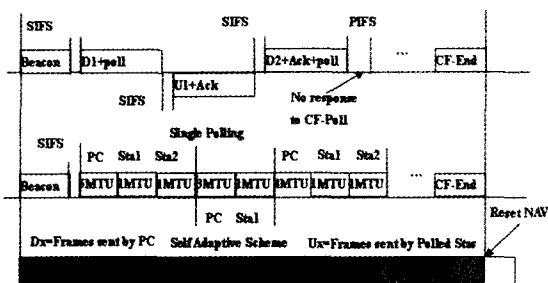


图 3 自适应算法和单轮询算法在 CFP 阶段的帧传输对比

如图 3 所示,PC 经过 PIFS(PCF Inter-Frame Space)间隔后获取信道控制权,发送信标(Beacon)帧,CFP 阶段开始。PC 首先对节点 1 进行轮询,并捎带发送节点 1 的下行数据帧 D1,节点 1 发送上行数据帧 U1,并捎带对 D1 的应答 Ack。PC 继续对节点 2 轮询,捎带发送给节点 2 的下行数据帧 D2 和对 U1 的 Ack。节点 2 没有反应(可能由于数据帧丢失、节点 2 处于 PowerSave 模式或者已经移出本 BSS 等原因)。经过 PIFS 间隔后,PC 收回信道控制权,继续对下一个节点进行轮询。最后 PC 发送 CF_End,结束 CFP 阶段,各无线节点重置网络分配矢量 NAV(Network Allocation Vector),进入 CP 阶段。

如果采用自适应调度算法,那么整个帧传输过程是动态的。信标帧之后,进行第一轮服务,PC→Stas 队列先进行数据传输,可以传输 5 个 MTU 数据,之间每个 MTU 传输数据间隔为 SIFS(图中没有画出 SIFS,下同)。服务 PC 之后,间隔 SIFS,进入 Stas→PC 队列组中的第一个服务队列 Sta1。在传输完 1 个 MTU 之后,调度器将使用权交给 Sta2,传输 1 个 MTU。处理完所有传输的站点之后,Stas→PC 队列组里面有站点离开 BSS,那么在进行的第 2 次服务当中,PC 队列服务完毕之后,处理单独的 Stas→PC 的队列,也即 Sta1 消息队列。在处理完毕 Sta1 队列此次服务,又有新的移动站点加入 BSS,并有数据传输,那么在新一轮服务中,又会对新加入的站点形成的队列及时进行服务。在整个 CFP 过程中,PC 队列在每个服务周期之内,处理的数据是动态变化的。

两个算法在帧传输的过程中,相同点是以信标帧作为开始,PC 发送 CF_End 作为 CFP 的结束。不同点在于,自适应算法可以更加公平地让有数据传输的站点获得传输数据的机

会,降低了平均包延迟,并且传输的效率也比单轮询传输更好,而轮询浪费了很多时间用在查询站点是否有数据要传输上。同时,在系统吞吐量上面,由于自适应算法采用了队列管理方式,在实时要求高的情况下和大规模数据传输的情况下,可以缓解网络拥塞,提高性能。

总结 本文在总结已有 PCF 算法的基础上,提出了一个自适应调度算法,定性的分析出了新算法在帧传输方面 QoS 的优越性,对 CFP 阶段多站点高速率传输情况为 PCF 算法提供了一套解决方案。采用队列管理 PC 和站点以及采用合适的缓冲区丢包策略将会是 PCF 算法的一个趋势。

参考文献

- 1 IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physic Layer (PHY) Specifications [S]. ISO/IEC 8802-11:1999(E), Aug 1999
- 2 Ganz A, Phonphoem A, GANZ Z. Robust superpoll protocol for IEEE 802. 11 wireless LANs [J]. In: Proc. of Military Communications Conference, Oct 1998, 2: 570~574
- 3 Ziouva E, Antonakopoulos T. Improved IEEE 802. 11 PCF Performance Using Silence Detection and Cyclic Shift on Stations Polling [J]. IEE Proc-Commun, Feb 2003, 150(1): 45~51
- 4 Lo N S C, Lee G, Chen W T. An efficient multipolling mechanism for IEEE 802. 11 wireless LANs [J]. IEEE Trans Comput, Jun 2003, 52(6): 764~778
- 5 Lan YiWen, Chen JyhCheng. Asymptotic weighted fair queuing (AWFQ) for IEEE 802. 11 point coordination function (PCF) [J]. In: Consumer Communications and Networking Conference, 2006. 2006 3rd IEEE. Vol 2. Jan 2006. 823~827
- 6 Yeh JingYuan, Chen Chienhua. Support of multimedia services with the IEEE 802-11 MAC protocol [J]. In: Communications, 2002, ICC 2002. IEEE International Conference on, Vol 1. 28 April-2 May 2002. 600~604
- 7 Deng D J, Chang R S. A priority scheme for IEEE 802. 11 DCF access method [J]. IEICE Trans Commun, vol E82-B, Jan 1999
- 8 Ma X, Du C, Niu Z. Adaptive polling list arrangement scheme for voice transmission with PCF in wireless LANs [J]. In: Communications, 2004 and the 5th International Symposium on Multi-Dimensional Mobile Communications Proceedings. The 2004 Joint Conference of the 10th Asia-Pacific Conference on, vol 1. Aug 2004
- 9 Demers A, Keshav S, Shenker S. Analysis and Simulation of a Fair Queueing Algorithm [J]. In: Proc. ACM SigComm 89, Austin, TX, 1989
- 10 Parekh A K, Gallager R G. A Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in Integrated Services Networks: The Single-Node Case [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1993, 1, 344~357
- 11 Floyd S, Jacobson V. Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1993, 1(4): 397~413
- 12 Braden B. Recommendations on Queue Management and Congestion Avoidance in the Internet [S]. RFC2309, 1998-04
- 13 Feng W C, Kandlur D, Saha D, et al. A Self-configuring Red Gateway [C]. In: Proc. of IEEE Infocom, New York, USA, 1999. 1320~1328
- 14 Jiang Y, Tham C, Ko C. Providing quality of service monitoring: challenges and approaches [J]. International Journal of Network Management, 2000, 10(6): 323~334
- 15 Trimintzios P. A management and control architecture for providing IP differentiated services in MPLS-based networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2001, 39(5): 80~88