

一种新的基于 HCCA 的流量调度算法

石胜林¹ 朱光喜^{1,2} 苏 钢¹

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074)¹ (武汉光电国家实验室(筹) 武汉 430074)²

摘要 IEEE802.11e 中 MAC 协议传送方式采用了混合协调功能(HCF),其中混合式协调控制信道访问(HCCA)是基于集中轮询方式接入业务,它提供了参数化的 QoS 接入。着重讨论变比特率数据流的接入控制,提出了一种新的根据网络的实际流量、动态调整服务间隔和传输机会,来灵活地分配网络资源的算法。仿真结果表明,该算法能有效提高网络的吞吐量和降低丢包率,大大提高系统性能。

关键词 无线局域网,服务质量,传输机会

中图分类号 TP393.17 **文献标识码** A

Novel QoS-guaranteed Traffic-scheduling Algorithm Based on HCCA

SHI Sheng-lin¹ ZHU Guang-xi^{1,2} SU Gang¹

(Department of Electronics and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)¹

(Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Wuhan 430074, China)²

Abstract The IEEE802.11e standard defines the Hybrid Coordination Function (HCF) which specifies the QoS algorithms in the MAC layer of the WLAN. HCCA is HCF Controlled Channel Access based on centralized polling mechanism and provides parameterized QoS. We addressed the efficient medium access control of variable bit rate (VBR) in HCCA, and proposed a novel scheduling algorithm, which can assign network resource based on associated flows using dynamical service intervals and transmission opportunity. The simulation results show that the algorithm can significantly improve the traffic channel utilization with lower packet loss ratio.

Keywords WLAN, Quality of service, Transmission opportunity

1 引言

无线局域网(WLAN)不需要频率批准,部署方便,业务可以满足室内静止、准静止条件下的应用,其速率大大高于蜂窝网。但是,WLAN在传送实时性多媒体业务时,无法保证和有线网络一样的高稳定性的传输质量。因此,如何提高无线局域网的服务质量,已经成为当前业界的重要议题之一。

为了提高无线局域网的服务质量,2005年IEEE 802.11e工作组制定并通过了802.11e QoS MAC协议^[1],该协议提出了一种新的QoS机制:混合协调功能(HCF: Hybrid Coordination Function),HCF的HCCA(HCF Controlled Channel Access)模式中定义了1个时间参数:传输机会(TXOP; transmission opportunity)。QSTA(QoS Station)可以在TXOP所限定的时间范围内传送多个数据帧,解决了以前每次只能传输一个数据帧的问题,减轻了数据帧冲突的程度。HCCA TXOP是QAP(QoS Access Point)根据每个QSTA所送来的TSPEC(Traffic Specification)参数计算得出的,然后回传给各个QSTA。文献[1]提出了一个基于HCCA的一个简单的流量调度算法,它首先为每个激活的站点计算出一个公共的服

务间隔(service interval, SI),然后根据每个站点的分组传输平均比特率指派一个固定长度的TXOP。这种算法简单直接,且它可以保证每个站点的平均传输流量;但是这种算法有一个弱点,就是它不能满足突发流量的QoS需求。针对突发流量的情况,文献[2,3]提出了一种解决方案,即根据每个站点不同时刻的传输流量使用不同长度的TXOP来解决突发流量的问题。但是文献[2]中的TXOP持续时间是根据站点当前流量的负荷评估出来的一个大概值,而不是实际的流量负荷。文献[3]中的TXOP持续时间更接近真实值,但是与文献[1]一样,公共的服务间隔是一个固定值,不能很好地满足突发流量的QoS需求。为解决以上问题,本文提出了一种新的算法,它综合了文献[2,3]的优势,一方面尝试在一个更灵活的服务间隔中动态分配传输机会;另一方面据各个站点的实际流量来分配TXOP持续时间。这样,当网络负荷比较轻时,站点可以增加TXOP持续时间以提高网络性能;当网络出现拥塞时站点亦能作出迅速响应。

本文首先介绍了IEEE802.11e中的HCCA流量控制机制,在详细分析其流程和计算公式的基础上,针对文献[1-3]解决方案的不足提出了一个新的根据各个站点实际流量来动

到稿日期:2008-04-16 本文受国际科技合作项目(编号2008DFA11630),国家“863”计划(编号2003AA12331005,2006AA01Z277)和国家自然科学基金(编号60496315)资助。

石胜林(1972-),男,博士生,主要研究方向为无线系统QoS技术,E-mail:slshi@263.net;朱光喜(1945-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为4G和宽带多媒体通信等;苏钢(1971-),男,博士,主要研究方向为自适应MIMO-OFDM传输研究。

态分配网络资源的流量调度算法;最后,利用 ns-2 进行仿真,仿真结果证明该算法能有效提高网络吞吐量,以及降低丢包率。

2 IEEE802.11e HCCA QoS 流量控制机制

由于传统的基于 IEEE802.11 标准的 WLAN 只能提供“尽力而为”(Best-effort)的服务,对服务质量(QoS)没有保障,不能很好地支持诸如视频、语音等多媒体实时业务,因此提高网络服务质量(QoS),支持多业务是 WLAN 技术发展中的一个关键问题。

2005 年 IEEE802.11e 标准引入了业务等级的概念,增加了一些新的 QoS 参数和帧结构来增强 WLAN 的 QoS 性能。IEEE802.11e 采用混合协调器(Hybrid Coordinator, HC)来提供参数化的 QoS 保证。HC 通常位于 AP 端,可以支持基于竞争方式的接入-增强型分布式协调访问(EDCA)或基于查询方式的接入-混合式协调控制信道访问(HCCA)来提供无线多媒体业务的 QoS 接入。EDCA 定义了 4 种基于 IEEE802.1D 的访问类型(Access Category, AC),使用 8 种用

户优先级(Priority)来接入无线媒体,为不同的业务类型提供不同的业务等级,使得那些实时业务能够优先接入信道。HCCA 的查询机制可以令 HC 将 QoS(+)CF-Poll 帧发送给各个站点(QSTA)来查询是否有数据要发送,并能基于每个站点的通信业务流需要对数据包进行排序。每一次轮询即给一个站点(QSTA)分配一个发送数据机会(TXOP),指明其可以发送数据的起始时间与最长持续时间。轮询 QoS 机制应用于每个业务流(Traffic Stream, TS)。一个 TS 就是一组携带 QoS 参数。在 MAC 层的服务数据单元(MSDU),这组 MSDU 包含特定的 TSPEC(Traffic Specification)元素。TSPEC 的主要参数包括分组传输的平均比特率(Mean Data Rate);通过无线接口的分组传输最大时延(Delay Bound)、包大小(Normal MSDU Size)、优先级(User priority)、最大包大小(Maximum MSDU Size)、最大突发大小(Maximum Burst Size)、最小物理比特率(Minimum PHY rate)、包传送的最大比特率(Peak Data Rate)等等。以上这些参数与 HC 联合起来动态决定每个 TS 的无线资源分配。TSPEC 具体帧结构如表 1 所列(以字节为单位)。

表 1 TSPEC 帧结构

Element ID	Length	TS Info	Nominal MSDU Size	Maximum MSDU Size	Minimum Service Interval	Maximum Service Interval	Inactivity Service	Suspension Interval
1	1	3	2	2	4	4	4	4
Service Start Time	Minimum Data Rate	Mean Data Rate	Peak Data Rate	Burst Size	Delay Bound	Minimum PHY Rate	Surplus Bandwidth Allowance	Medium
4	4	4	4	4	4	4	2	2

无线多媒体业务的流量调度算法通常是基于 HCCA 轮询机制的,因为基于 EDCA 竞争机制不适合提供稳定的 QoS 保证,特别是对于那些对时延敏感的业务来说更是如此。在文献[1]中提到了一种非常简单的基于 HCCA 轮询机制的流量调度算法。在 HCCA 模式中,当 QAP 从 QSTA 收到 QoS 请求包后,控制机制将根据 QoS 帧中所附带的 TSPEC 各项参数来计算出每个数据流是否能排入 HC 的轮询调度器中等待传输。具体流程如下:

步骤 1 依据每个激活的 QSTA 的信息计算出公共服务间隔 SI。

公共服务间隔 SI 必须小于或等于每个 QSTA 的最大服务间隔,还必须是信标间隔(Beacon Interval)的最大因数。例如信标间隔为 500ms, QSTA1, QSTA2, QSTA3 的最大服务间隔分别是 180ms, 150ms, 200ms, 则 SI 为 125ms。

步骤 2 根据 TSPEC 的参数计算出分配给每个数据流的 TXOP 持续时间。

首先,计算出在 SI 间隔期间可以传送的 MSDU 数目 N_i 。

$$N_i = \left\lfloor \frac{SI \times \rho_i}{L_i} \right\rfloor \quad (1)$$

其中: ρ_i 是平均比特率, L_i 是包大小。然后计算 TXOP 持续时间 TD_i (至少保证能传送一个最大的 MSDU):

$$TD_i = \text{Max} \left(\frac{N_i \times L_i}{R_i} + O, \frac{M}{R_i} + O \right) \quad (2)$$

其中, R_i 是最小物理比特率, M 是最大的 MSDU (例如: 2304bytes), O 是额外开销。

图 1 是 QSTA1, QSTA2, QSTA3 在 SI 期间数据传输的调度情况示意图。

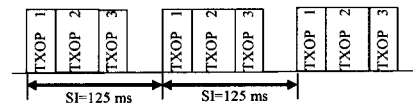


图 1 QSTA1, QSTA2, QSTA3 在 SI 期间的数据传输调度情况

步骤 3 最后计算新的数据流是否可以传输。如果 TD_{k+1} 满足以下等式,则新进的数据流可以传输,否则被拒绝。

$$\frac{TD_{k+1}}{SI} + \sum_{i=1}^k \frac{TD_i}{SI} \leq \frac{T - T_{cp}}{T} \quad (3)$$

其中, T 是信标间隔, T_{cp} 是 EDCA 流的时间。

从以上算法可以看出,它以 TSPEC 来表述数据流的 QoS 参数需求。传输时间受 HCCA TXOP 限制并且根据数据流的 TSPEC 参数来计算。该算法简单,易于实现,但是 SI 以及 TXOP 持续时间都是固定的。它能有效地传送恒定比特率 CBR 的数据流,但是并不十分适用于变化比较大的变比特率(VBR)数据流的传输,不能很好地满足突发流量的 QoS 需求。但是多媒体数据流一般具有变比特率的特征,因此改进 VBR 在 HCCA 中的传输性能是十分必要的。

3 改进算法

为了克服以上问题,本文提出了一种新的解决方案,其主要思路是以更加灵活的服务间隔来调度各站点数据流,同时利用各站点数据流 QoS 帧中的队列大小(Queue Size)来准确评估数据流的真实负荷,并用来计算 TXOP 持续时间以更有效地调度各站点的数据流。具体流程如下:

步骤 1 若 QSTA_i 在 t 时刻被轮询到,上次轮询时间是 t_i ,如满足公式(4)则进入下一步,否则等待。

$$t - t_i \geq mSI_i \quad (4)$$

其中, mSI_i 是 QSTA_i 的最小服务间隔(TSPEC 参数)。

步骤 2 用式(5)代替式(2),计算 TXOP 持续时间 TD_i :

$$TD_i = \text{Max}\left(\frac{QS_i + \rho_i * (t - t_i)}{R_i} + O, \frac{M_i}{R_i} + O\right) \quad (5)$$

其中, TD_i 是 QSTA_i 的 TXOP 持续时间, M_i 是最大包大小(TSPEC 参数), R_i 是物理传输的比特率(TSPEC 参数), QS_i 是 Queue Size 队列大小(QoS Subtype 参数), ρ_i 是分组传输的平均比特率(TSPEC 参数), O 是额外开销。

步骤 3 最后判断新进入的数据流是否可以被传输。如果新的数据流 TD_{k+1} 依次满足(6)–(8)等式,则可以传输,否则被拒绝。

$$TD_{k+1} + \sum_{i=1}^k TD_i \leq \text{Min}(MSI_i) \quad (6)$$

$$SI = \sum_{i=1}^{k+1} TD_i \quad (7)$$

$$\frac{TD_{k+1}}{SI} + \sum_{i=1}^k \frac{TD_i}{SI} \leq \frac{T - T_{cp}}{T} \quad (8)$$

其中, MSI_i 是 QSTA_i 的最大服务间隔(TSPEC 参数), T 是信标间隔, T_{cp} 是 EDCA 流的时间。

4 仿真分析

本文将通过仿真讨论以上算法对网络性能的影响。本文的研究目的是提高 WLAN 数据传输的 QoS 性能,所以在仿真讨论中主要把吞吐量、数据帧平均时延、丢包率、TXOP 有效传输率作为衡量 QoS 的标准。系统吞吐量定义为单位时间内站点所接到的数据量;数据帧传输平均时延定义为发送端的数据帧从到达 MAC 层到它被接收端成功接收所经历的时间,丢包率定义为丢弃的数据包与所有请求传输的数据包的比值;TXOP 有效传输率定义为 TXOP 持续时间中有效传输数据的时间段在整个 TXOP 持续时间中所占的比率。本文采用 ns-2 进行仿真,仿真的业务信号类型为 H. 261 Video 信号,它的 TSPEC 参数如表 2 所列。

表 2 TPSEC 参数表

TSPEC 参数	值
平均传输速率(kbps)	256
最大时延(ms)	40
包大小(bytes)	1279
最大包大小(bytes)	5410
最大突发大小(bytes)	5410
最大传输速率(kbps)	1056
最小物理传输速率(Mbps)	12
最小服务间隔(ms)	0
最大服务间隔(ms)	40

仿真分析如图 2 所示,分别从吞吐量(a)、数据帧平均时延(b)、丢包率(c)和 TXOP 有效传输率(d)4 个方面对本文算法与 IEEE802. 11e 基本算法进行了比较。从图 2(a)中可以看出,在站点数大于 6 时,本文算法的吞吐量会随着站点数的增加有一个线性的增长;而 IEEE802. 11e 基本算法的吞吐量

则随着站点数的增加基本保持不变。从图 2(b)中可以看出,IEEE802. 11e 基本算法有一个更低也更稳定的数据平均时延,这主要是由于本文算法对不同负荷的数据流动态计算 TXOP,因此导致平均延迟略高,但依旧在系统允许范围之内,所以是可以接受的。从图 2(c)中可知,在站点数大于 6 时,本文算法的丢包率基本保持在 1%左右;而 IEEE802. 11e 基本算法的丢包率会随着站点数的增长会快速增长,当站点数达到 15 时丢包率达到 60%。本文算法之所以在吞吐量和丢包率上得到较好的改善,主要得益于本文算法是基于数据流的队列大小精确分配每个站点数据流的传输机会,从而更有效地利用系统资源。最后从图 2(d)中可以看到,由于 TXOP 是根据需要计算的,因此利用率达到 90%左右,远远高于 IEEE802. 11e 基本算法 20%左右的利用率。综合以上分析可以得出结论:本文算法对系统的 QoS 性能有一个较大的提升。

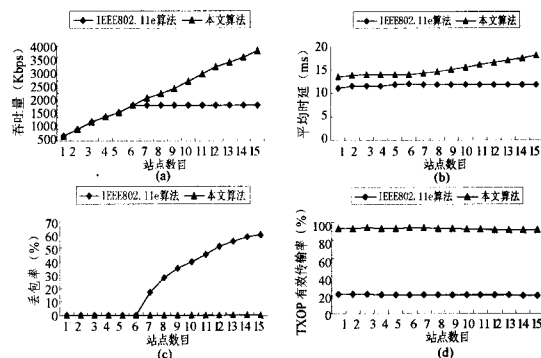


图 2 仿真分析图

结束语 本文详细分析了 IEEE802. 11e 中提出的 HCCA 调度算法及其存在的缺陷,提出了根据各个站点数据流的具体情况动态分配网络资源的调度算法,改善了固定分配传输机会与服务间隔不能很好地满足突发流量的 QoS 需求的问题。仿真结果证明,该算法可以提高网络吞吐量,减少丢包率,对改进无线局域网的 QoS 性能有一定的参考价值。

参考文献

- [1] IEEE 802. 11 Working Group. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications; Amendment 8; Medium Access Control(MAC) Quality of Service Enhancements. IEEE Standard 802. 11e, November 2005
- [2] Grilo A, Macedo M, Nunes M. A Scheduling Algorithm for QoS Support in IEEE 802. 11e Networks. IEEE Wireless Communications. June 2003; 36-43
- [3] Ansel P, Ni Q, Turletti T. FHCH: A Fair Scheduling Scheme for 802. 11e WLAN. Project Planete, July 2003
- [4] Rashid M M, Hossain E, Bhargava V K. Queueing analysis of 802. 11e HCCA with variable bit rate traffic // Proc. IEEE ICC 2006. vol. 10, June 2006; 4792-4798
- [5] Ansel P, Ni Q, Turletti T. FHCF: A Simple and Efficient Scheduling Scheme for IEEE 802. 11e Wireless LAN. Mobile Networks and Applications (Springer), 2006, 11(3): 391-403