

无线网络信道队列状态感知资源调度算法

程军 李鸥 来卫国 张刚

(信息工程大学信息工程学院 郑州 450002)

摘要 资源调度对实现资源的有效利用、保证业务的 QoS 发挥着重要作用。对跨层资源调度问题的研究状况进行了概述。(1)根据所采用的技术体制和约束类型,介绍了单载波系统和 OFDM 系统的多用户机会调度问题和算法,分析了单一类型和多种类型资源共享约束下的机会调度算法;(2)分别从队列调度、子载波分配和功率控制 3 个方面,对基于队列和信道状态信息的资源调度算法进行了分析和比较;最后指出了需要进一步研究的问题。

关键词 跨层调度,机会调度,资源分配,服务质量

Channel and Queue Aware Resource Scheduling Algorithms in Wireless Networks

CHENG Jun LI Ou LAI Wei-guo ZHANG Gang

(Information and Engineering Institute, Information Engineering University of PLA, Zhengzhou 450002, China)

Abstract Resource scheduling is very critical to make effective use of wireless resource and guarantee QoS as well. This tutorial paper overviewed recent developments in cross-layer resource scheduling and allocation problems in wireless networks. (1) Opportunistic scheduling algorithms for single carrier and OFDM system under one type of QoS constraint and multiple QoS constraints were introduced respectively. (2) The resource scheduling algorithms in terms of queue scheduling, subcarrier allocation and power control, which are both channel and queue aware were described. The problems to be further investigated were presented finally.

Keywords Cross-layer scheduling, Opportunistic scheduling, Resource allocation, Quality of service (QoS)

随着网络技术和无线通信技术的迅猛发展和日趋融合,无线网络技术得到了前所未有的发展和应用。与此同时,有限的网络资源与用户日益增加的业务需求之间的矛盾亦日渐突出。一方面,无线网络带宽和功率资源有限,无线信道受干扰、衰落、多径扩展、多普勒效应等影响,信道容量动态变化。另一方面,用户的业务需求正从语音、电子邮件向包括视频流、实时交互业务在内的多媒体业务转变,而多媒体业务具有高带宽、低时延等 QoS 需求。如何实现网络资源的有效利用,保证多种类型业务的 QoS 需求,是当前网络和通信领域研究的热点问题。

跨层资源调度对实现资源的有效利用,保证业务的 QoS 发挥着重要作用,围绕跨层无线资源调度展开了大量研究。本文对跨层资源调度问题的研究状况进行了概述,明确了研究的关键问题,阐述了解决这些问题的基本思想和方法。在此基础上,指出了需要进一步研究的问题。

1 机会(基于信道状态信息)调度算法

1.1 单载波体制下的机会调度

为解决无线信道动态变化所造成的资源浪费问题,人们提出了依赖于信道状态的调度算法^[1,3]、依赖于地理位置的调度算法^[2,3]和机会调度算法^[4,5]等。这些算法的基本思想

是:调度过程利用信道的动态变化特性,尽可能通过较好的信道传输信息。机会调度提高了无线资源利用率,增加了系统吞吐量。

机会调度算法^[4,5]在提高系统吞吐量的同时,容易造成用户间的不公平性。例如距离基站较近的用户,信道质量较好,接受较多服务;而位于蜂窝边缘的用户,信道质量相对较差,可能长时间接受不到服务。为解决此问题,文献[6]提出了比例公平(PF)算法,文献[7]提出了基于资源共享约束的机会调度算法,这些算法都是公平性与传输效率之间进行折衷的结果。比例公平算法既考虑当前的用户信道质量状况,又考虑用户已接受到的服务量,从而保证无线带宽的有效利用,维护用户间的公平性。而文献[7]引入了3种公平约束条件:时间共享公平约束、基于性能的公平约束、最小性能公平约束,既实现系统吞吐量最大化,同时满足资源的公平共享。机会调度算法示意图如图1所示。

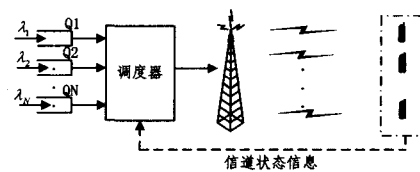


图1 机会调度算法示意图

收稿日期:2008-05-30 本文受国家高技术研究发展计划(863)(No. 2007AA012431)资助。

程军(1976-),男,博士研究生,研究方向为无线资源调度,E-mail:newhorizon@126.com;李鸥(1961-),男,教授,博士生导师,研究方向为宽带通信网;来卫国(1972-),男,博士研究生,研究方向为网络组播技术。

1.2 多载波体制下的机会调度

文献[4-7]研究的是单载波下的机会调度问题,一次只能服务一个用户。多载波技术(OFDM/OFDMA)具有抗频率选择性衰落、传输数据率高、能实现频率复用和并行传输等优点,是下一代宽带移动无线网络的关键技术。文献[8-10]研究了多载波技术下的机会调度问题。文献[8]在3种公平性/QoS(时间公平、效用公平和最小性能保证)约束下推导了最优调度策略,该调度策略不仅利用了信道的时变特性,同时利用了信道的频域多样性。文献[9]给出了设计具有自适应控制功能的机会公平无线调度器的一般方法,描述和解决了多信道调度问题。文献[8,9]研究的是时隙资源的多用户机会调度问题,而文献[10]提出了联合时隙和功率的机会调度机制,进一步改善了系统性能。

1.3 多类型约束下的机会调度

文献[4-10]中只考虑了单一类型约束即时间公平、效用公平和最小性能保证,而实际系统中存在多种类型具有不同QoS需求的业务,因此有必要研究多类型约束下的机会调度问题^[11,12]。文献[11]研究了多个长期QoS约束下的机会调度问题,但调度机制中需要优化的参数较多,算法较复杂。文献[12]研究了多业务无线网络多个QoS约束下的机会调度问题。对于多个长期QoS约束下的机会调度问题,提出了基于归一化QoS的机会调度(QNBOS)机制;对于实时和非实时混合业务的机会调度问题,提出了多业务机会调度(MSOS)机制。QNBOS首先根据性能值和控制参数分配时隙,实现比较高的系统性能,然后更新控制参数以满足约束条件。控制参数的更新是根据当前QoS值与QoS约束的归一化差值进行的,性能较差用户得到较高的调度优先级。MSOS保证非实时业务间的长期吞吐量的公平性,同时给予实时业务基于概率的吞吐量保证,对于没有达到QoS要求的用户,增加其调度权重;反之亦然。

2 基于信道和队列状态信息的调度算法

机会调度算法虽然利用了信道的动态变化特性,但没有考虑业务负荷及其变化带来的影响。业务负荷及变化对调度算法的影响较大,例如被调度用户可能因业务不足而造成传输资源的浪费。于是基于信道和队列状态信息的调度算法应运而生,主要思想是:调度过程综合考虑信道状态、队列状态、业务的QoS需求及用户间的公平性等问题,提高信息传输效率,保证业务的QoS,维护用户间的公平性。

2.1 基于信道和队列状态信息的队列调度

基于信道和队列状态信息的调度算法(如图2所示)中,比较经典的是M-LWDF^[13]算法,已在CDMA-HDR系统得到成功应用。ML-WDF的调度优先级由信道状态、用户已接受的服务量和队头分组的排队时延确定。为了解决用户队列间的时延差异不敏感问题,人们提出了改进的基于指数规则的ML-WDF算法^[14],改进了分组时延和系统吞吐量。

ML-WDF^[13,14]算法没有考虑业务随机到达可能造成的被调度用户数据量不足而带来的系统容量浪费情况。针对该问题,文献[15]提出一种基于优先级的公平调度(PBFS)算法。结合流媒体业务的QoS需求,PBFS根据各移动用户信道质量及其变化和业务的等待数据量、等待时间等QoS需求动态调整各用户的业务传输优先级,有效提高了系统吞吐量,

减少了数据丢包率。

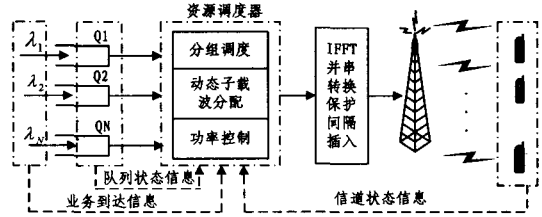


图2 基于信道和队列状态信息的调度算法示意图

文献[16]提出基于队列稳定性和信道状态信息的调度算法,该算法一方面利用了信道的多样性,另一方面考虑了队列的稳定性,而维护队列的稳定性对保证业务的QoS是十分重要的。队列的稳定性是使用队列的到达率和服务率的比值来衡量。使用指数加权滑动平均算法分别估计业务到达率和队列服务率。利用两者比值的归一化值和信道状态共同决定调度优先级。

实际系统中,队列容量通常有限,分组长度和分组到达率都是动态变化的。有限的队列容量可能产生缓存溢出和分组丢失。分组的变长使调度不同长度的分组所带来的效果不同,例如信道条件一定的情况下,调度和发送较长分组可能导致分组出错从而引起重传,而发送较短分组则不会发生这种情况;在到达率和队长相同的情况下,调度长分组会使队列出现较大空闲。而在队长相同的情况下,到达率越大,队列发生溢出的可能性相应增加。基于上述分析,文献[17]提出了基于队列信息和业务特性的分组调度算法(BATD)。BATD综合考虑了队列状态、信道状态、到达率、分组长度以及已接受的服务量等因素,力求实现系统吞吐量尽可能大,丢包率尽可能小,同时维护用户间的公平性。

2.2 基于信道和队列状态信息的子载波分配和功率控制

队列调度算法利用信道和队列状态信息,提高了系统性能和QoS保证能力。队列的调度最终要依靠物理层的传输技术将相应分组发送给接收者。物理层的资源分配同样也可以利用队列和信道状态信息,以实现资源的优化使用。文献[18]提出基于信道和队列状态信息的动态子载波分配机制,业务的时延保证通过动态分配子载波从而调整和提高服务速率来实现,并提出了两种动态子载波分配算法MDU和MDU-GR。这两种算法都以最大化时延效用函数为目标,结合队列和信道状态信息,将子载波分配给信道质量较好或(和)排队时延较长的用户。与MDU相比,MDU-GR多了子载波的再分配机制,将多余子载波分配给其他用户,防止因用户数据不足而造成资源浪费。

虽然文献[18]提出根据信道和队列状态信息进行子载波的动态分配,但没有考虑功率的动态分配问题。文献[19]研究了基于信道和队列状态信息的最优功率分配策略问题。通过考虑网络层的容量需求上限,建立了一个资源分配的跨层优化问题,求解了该问题的解析最优解,给出了跨层功率分配的“地窖注水”算法。而文献[20]提出基于等待时间最小的联合子载波和功率分配方法,以最小化排队时间为目标,结合信道状态信息,分配子载波和功率,有效减少了分组等待时间,提高了频谱利用率。文献[21]研究了信道和队列意识调度下的联合子载波和功率分配(JSPA)问题,提出了局部优化求解方法,方法的主要思想是:允许多个用户共享一个OFDM符

号,对子载波和功率进行联合优化,每分配一个载波给用户时,立刻优化用户的功率分配,有效提高了系统性能。

2.3 信道状态和队列状态信息的重要性比较

文献[22]的研究显示,信道状态信息和队列信息对调度决策的重要性随着业务负荷的变化而变化:当到达率小时,队列状态信息对调度策略和系统性能影响较大;而当到达率较大时,信道状态信息在调度策略中起支配作用,对系统性能影响较大。另外,队列状态还得到了其他应用,例如队列意识的上行链路带宽分配^[23]、队列意识的速率控制^[23]等。

结束语 随着无线多媒体业务的广泛应用,日益增长的业务需求与有限带宽资源之间的矛盾日渐突出。资源调度对保证业务的 QoS 需求,提高无线频谱效率发挥着重要作用。本文对无线跨层资源调度技术研究的近期发展情况进行了概述。值得进一步研究的问题:

(1)联合流量预测、信道状态信息预测和队列状态信息的跨层队列调度算法。信道状态和业务流量的随机动态变化以及传播时延使调度器所获得的系统状态信息往往是不准确的,影响了调度的准确性和系统性能。利用流量预测和信道状态预测机制,减少状态信息的不准确性,提高调度的准确性,增强系统性能。

(2)基于模糊逻辑的跨层队列调度算法。由于业务流量、队列状态和信道状态等信息的不准确性,很难做出正确、准确的调度决策。模糊逻辑利用模糊集和模糊推理的方法,能够根据不完整、不准确的输入信息做出有效决策。研究基于模糊逻辑的跨层队列调度算法,减少状态信息不准确所带来的影响。

参 考 文 献

[1] Bhagwat P, Krishna A, Tripathi S. Enhancing throughput over wireless LAN using channel state dependent packet scheduling// Proc. IN FOCOM96. Mar. 1996;1133-1140

[2] Ng T S E, Stoica I, Zhang H. Packet fair queuing algorithms for wireless networks with location-dependent errors// Proc. INFOCOM98. Mar. 1998;1103-1111

[3] Lu Songwu, Bharghavan V, Srikant R. Fair Scheduling in Wireless Packet Networks. Networking IEEE/ACM Transactions, 1999, 7(4)

[4] Liu X. Opportunistic scheduling in wireless communication networks. Ph. D. dissertation, Purdue University, 2002

[5] Liu X, Chong E K P, Shroff N B. A framework for opportunistic scheduling in wireless networks. Computer Networks, 2003, 41(4):451-474

[6] Rhee J H, Kim T H, Kim D K. A Wireless Fair Scheduling Algorithm for 1x HRPD System. IEEE, 2001; 743-746

[7] Liu X, Chong E K P, Shroff N B. Opportunistic transmission scheduling with resource sharing constraints in wireless net-

works. Selected Areas in Communications, IEEE Journal, 2001, 19;2053-2064

[8] Zhang Zhi, He Ying, Chong E K P. Opportunistic downlink scheduling for multiuser ofdm systems // WCNC2005. March 2005;1205-1212

[9] Liu Yonghe, Knightly E. Opportunistic fair scheduling over multiple wireless channels// INFOCOM 2003. 2003, 2;1106-1115

[10] Lee Jang-Won, Mazumdar R R, Shroff N B. Opportunistic power scheduling for dynamic multi-server wireless systems. Wireless Communications, IEEE Transactions on, 2006, 5(6);1506-1515

[11] Kulkarni S, Rosenberg C. Opportunistic Scheduling: Generalizations to Include Multiple Constraints, Multiple Interfaces, and Short Term Fairness. Springer Wireless Networks, 2005, 11(5); 557-569

[12] Liao Dan, Li Leming, Xu Shizhong, et al. Opportunistic Scheduling with Multiple QoS Constraints in Wireless Multiservice Networks// WCNC2007. March 2007;1525-1531

[13] Andrews M, Kumaran K, Ramanan K, et al. Providing quality of service over a shared wireless link. IEEE Communication Magazine, 2001

[14] Shakkottai S, Stolyar A. Scheduling algorithms for a mixture of real-time and non-real-time data in HDR// Proc. of International Teletraffic Congress (ITC). 2001

[15] 赵新胜, 鞠涛, 尤肖虎. 一种适用于 B3G 移动通信系统下行共享信道的调度算法[J]. 电子学报, 2005, 33(7);1173-1176

[16] Mehrjoo M, Shen Xuemin, Naik K. A joint channel and queue-aware scheduling for IEEE 802. 16 wireless metropolitan area networks// WCNC2007. Mar. 2007

[17] Huang Jinri, Niu Zhisheng. Buffer-aware and Traffic-dependent Packet Scheduling in Wireless OFDM Networks// WCNC2007. Mar. 2007

[18] Song Guocong. Joint channel-aware and queue-aware data scheduling in multiple shared wireless channels // WCNC2004. Mar. 2004

[19] 陈巍, 曹志刚, 樊平毅, 等. 基于信道和队列状态信息的跨层最优功率分配[J]. 通信学报, 2007, 28(8)

[20] Yang Xiang, Yum Tak - Shing P. Minimal waiting time assignment of subcarriers and power for ofdma system// WCNC2007. Mar. 2007

[21] Joint subcarrier and power allocation in channel-aware queue-aware scheduling for multiuser ofdm. IEEE Trans. on Wireless Communication, 2007, 6(9)

[22] Somsak. Resource allocation in ofdma with time-varying channel and bursty arrivals. IEEE Communications Letters, 2007, 11(9)

[23] Niyato D, Hossain E. Queue-aware uplink bandwidth allocation and rate control for polling service in IEEE802. 16 broadband wireless networks. IEEE Trans. on mobile Computing, 2006, 5(6);668-679

(上接第 33 页)

[43] Nair R, Rost B. Inferring sub-cellular localization through automated lexical analysis. Bioinformatics, 2002, 18(Suppl): S78-S86

[44] Drawid A, Gerstein M. A Bayesian system integrating expression data with sequence patterns for localizing proteins; comprehensive application to the yeast genome. J. Mol. Biol., 2000, 301;1059-1075

[45] Marcotte E M, Xenarios I, van Der Bliet A M, et al. Localizing proteins in the cell from their phylogenetic profiles// Proc. Natl

Acad Sci USA. 2000, 97 (22);12115-12120

[46] Guo J, Lin Y L, Sun Z R. A Novel Method for Protein Subcellular Localization Based on Boosting and Probabilistic Neural Network// Asia-Pacific Bioinformatics Conference (APBC2004). 2004

[47] Vapnik V. The Nature of Statistical Learning Theory. New York;Spring-Verlag, 1995

[48] Chou K C, Elrod D W. Using Discriminant Function for Prediction of Subcellular Location of Prokaryotic Proteins. Biochemical and Biophysical Research Communications, 1998, 252;63-68