

# 认知无线电 QoS 研究现状分析

董灿<sup>1</sup>,程琼<sup>2</sup>

(1.重庆邮电大学 移动通信重点实验室,重庆 400065;

2.重庆邮电大学 网络及信息管理中心,重庆 400065)

**摘要:** 认知无线电是一种智能频谱共享技术,它通过自适应频谱感知寻找“频谱空穴”,智能学习并实时调整传输参数,实现频谱动态分配和频谱共享,显著改善现有频谱利用率。概括介绍了 CR 的 QoS 方案研究现状,并指出目前研究存在的问题以及可进一步研究的方向。

**关键词:** CR 技术; IEEE; QoS; 动态频谱分配

中图分类号: TN915

文献标识码: A

## QoS status of development and researches in cognitive radio

DONG Can<sup>1</sup>, CHENG Qiong<sup>2</sup>

(1. Key Lab of Mobile Communication, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;

2. Network Management Center, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China )

**Abstract:** Cognitive radio is an intelligent spectrum sharing technology. It does this by looking for adaptive spectrum sensing "spectrum hole", intelligent learning and real-time adjustment of transmission parameters to achieve dynamic spectrum allocation and spectrum sharing, significantly improving the existing spectrum efficiency. the article detailedly introduces the current CR research status of QoS. At last, pointing out the problems and further research tendency.

**Key words:** CR technology; IEEE; QoS; dynamic spectrum allocation

为了改善当前频谱利用率低的状况, Joseph Mitola III 于 1999 年提出了一种叫做认知无线电 CR (Cognitive Radio) 的“频谱池”系统,从此认知无线电技术得到了广泛关注。人们希望通过认知无线电自适应感知技术,实现频谱资源的动态共享,从而大大提高现有频谱资源的利用率。

QoS(服务质量)是网络提供更高优先服务的一种能力,包括专用带宽、抖动控制和延迟、丢包率等,同时确保为每种流量提供的优先权不会阻碍其他流量的进程。不同的应用或不同的业务(如数据、音频、视频、多媒体等)在时延、带宽、丢包率等方面都有着不同的需求。

利用认知无线电技术实现无线频谱资源动态共享的过程中, QoS 问题引起了国内外众多学者的极大关注<sup>[1-3]</sup>。由于存在保障主用户、次用户、多个次用户等情况下的 QoS, 也存在着使用中可用频谱资源的快速感知、使用中可用频谱资源质量的快速评估、单个次用户的频谱切换、使用中多个次用户的频谱切换等多种在有线网络领域中所没有的复杂情况,使得在无线资源动态共享情况

下 QoS 的保证与有线网络和其他无线频谱资源在固定的静态分配方式的无线网络有很大的不同,因此,必须提出有效的、能够自适应调整的频谱资源分配方案及管理策略以保证各用户的 QoS,这也是扩大无线通信应用范围和层次、满足无线终端系统成为综合的、智能的信息终端的最为关键的技术保证。在目前并没有很好的方案来解决这些问题<sup>[1-3]</sup>。

### 1 CR 中 QoS 保障的研究现状

#### 1.1 国内外研究现状

在动态共享可用频谱资源的服务质量保障方面,已有一些研究成果。参考文献[1]提出通过改变吞吐量和延迟来优化 QoS,同时降低误比特率 BER (Bit Error Rate) 来保证主用户和次用户的 QoS,也可以通过减少传送功率保证 QoS。参考文献[2]认为,如果 BER 小于 SQP(Sequential Quadratic Programming),则主用户的 QoS 保证质量会下降,而次用户的传输功率的降低会提高主用户的 QoS。采用纳什协商技术 NBS(Nash Bargaining Solutions),可以保证有效地、公平地分配资源。参考文献[3]提出在收发

《微型机与应用》2010 年第 2 期

## 综述与评论 Review and Comment

两端均采用机会频谱获取方式,多个信道相互合作感知,以保证 QoS。参考文献[4]提出端对端的 BER 方式,结合机会频谱获取方法,提出机会认知模型,提高 QoS。参考文献[5]则提出将 BER 固定,通过限制功率,已达到 QoS 最优化的目的。这种对 QoS 的研究大多基于对 BER 和传输功率的控制或改进,着重于单个次用户已经获得可用频谱资源使用权的情况下,如何保障其服务质量方面,而且这种研究仅着重于理论研究及初级阶段,还需要进行深入研究及实验论证。对多用户竞争共享中的协调分配机制研究较少,对各用户服务质量保障方面的研究也少有文献涉及。

参考文献[6]研究了频谱切换的 MAC 协议设计,参考文献[7]讨论了预留信道的数量对连接保持概率的影响,但这些工作都是把焦点放在物理层的影响上而没有考虑对 MAC 层的影响;参考文献[8]研究了 3 种频谱切换并从连接保持概率和次用户传输的有效数据率两个方面来研究这三种机制的性能;参考文献[9]通过模糊数学的方法来研究在一个不确定、不完全及多种混杂信息环境的特征下次用户如何做出频谱切换决策,它降低了次用户设备的软硬件设备的复杂度和时间复杂度;参考文献[10]提出一个基于认知无线电媒体接入控制协议的频谱切换方案,该方案使次用户在不对主用户造成干扰的条件下能够机会主义地使用未使用的授权频谱;参考文献[11]研究了认知无线电网络的两种频谱切换的方案:反应式的感知频谱切换和主动感知频谱切换;参考文献[12]研究了认知无线网络中频谱切换的性能,提出了频谱切换的时间关系模型,研究了频谱移动性和认知用户的服务时间对频谱切换概率的影响。

针对频谱切换过程中,如何保证主用户和次用户的服务质量问题,国内外科研人员进行了一些探索。在保护主用户方面,要满足一定的时延容忍限制和干扰限制,参考文献[13]将来自大规模认知网络的累积干扰模型化并研究它怎样影响认知无线电的感知要求以满足干扰限制,参考文献[14]通过随机干扰特征方程的一般式来研究主用户被保护区半径、阴影和小规模衰落 (small scale fading) 对干扰能量概率密度函数的影响;对于次用户,是在误码率要求、延迟抖动、容量(速率)限制、SINR 约束、功率控制、各种目标概率(阻塞概率、丢失概率和失败概率)限制、切换开销方面。参考文献[15]通过预留机制来保证次用户能够快速切换到可用频谱上,减少了频谱切换的时间开销,提出一种算法用以研究预留容量(backup capacity)的共享问题,改善了容量使用和吞吐量可靠性两方面的性能。

### 1.2 研究方法现状

大量的文章都在研究新的频谱管理策略,频谱管理最主要的是设计一个高效的频谱自适应策略。目前在频谱分配、功率控制、伺机接入控制方面研究较多。另外切

换技术、资源调度、路由及安全等方面均有研究。

频谱分配主要采用博弈论<sup>[16]</sup>、价值论<sup>[17]</sup>、图着色理论<sup>[18]</sup>等。博弈论分为协作与非协作两类,目前广泛采用非协作方式。协作博弈考虑公平性,追求全局最优化,非协作博弈考虑自身利益最大化。YU 最先提出非协作博弈来对频谱进行管理,并在参考文献[16]中提出迭代注水法:当用户之间不合作时,单个发射机性能通过发射功率的同时注水分布来优化。SHAMIK 在设计效用函数同时考虑自身利益和他人利益,使非协作博弈的均衡状态收敛于系统的最优状态。WANG 等人提出 CRs 动态地选择信道和适应传送功率和速度的 PIWF (Price-based Iterative Water-Filling) 法,提高吞吐量,降低消耗,提高频谱利用率。WANG 等人在考虑信道分配时着重考虑了次用户的 list-coloring<sup>[18]</sup>问题,但没有考虑干扰限制 (interference constraints)。

认知无线电中的功率控制研究主要是设计效用函数、干扰限制值研究以及信道探测等。功率控制中效用函数的基本思想是将影响功率控制和 QoS 性能的参数用数学式表示出来(如 SINR、功率和速率的关系等),然后求出最优解,即得到功率分配的最优参数,得到最优分配方案。在进行最优值求解时,通常采用凸优化算法、纳什均衡法、启发式算法、注水算法等。参考文献[19]通过干扰限制和峰值功率约束的方法来提高吞吐量、最大化速率并平衡 SINR。

伺机接入控制技术分为合作式与非合作式两种。ZHENG 等人提出基于图着色理论的、以网络为中心的协作和公平性随机频谱接入算法,在避免次用户间干扰的前提下最大化系统效益。参考文献[20]采用马尔可夫模型来描述主认知用户的信道质量变化,通过最优化技术求出最佳分配参数,实现最佳信道分配。LOKUGE 等人研究了认知网络下的端到端的路径性能特征,包括最优化能量、安全、实时业务的抖动、吞吐量、复杂性和代价,引入基于预留的多路统计多媒体接入协议。完成了 MAC 层一整套设计<sup>[21]</sup>,实现了动态接入。

### 2 存在的问题及进一步可研究点

由此可以看出,当前对频谱管理和分配方面虽然也取得了一些进步,有的也给出了数学模型,但总体上还处于一种理论研究的初级阶段,要想实际应用还有许多问题有待解决。

由于这种工作是非授权的系统(如 WRAN 系统)中的用户驻地设备 CPE 不需要注册,就会出现相互竞争频谱资源的现象,因此多用户的资源共享是需要重点解决的问题。其中允许哪一个用户先接入、哪一个用户后再接入、允许接入的标准是什么,竞争机制该如何统一,怎样协调多用户的资源分配问题,不同业务等级用户的质量保障机制该如何建立,这些都是目前没有完全解决的问题。

## 综述与评论 Review and Comment

频谱池是一种资源共享的方法,也是目前研究的主要策略。这种方法利用博弈论和信息论原理来建立授权用户和非授权用户之间的协调和管理机制,使频谱资源的利用率最大。但是在这种共享中对 QoS 的研究大多基于对 BER 和传输功率的控制或改进当中。

单个认知用户已经获得可用频谱资源的使用权,但是如何保障其服务质量、如何避免或最小化对授权用户的干扰以及如何减少与授权用户的碰撞概率,这种研究还处在理论研究的初级阶段,还需要进行深入研究与实践论证。

多个次用户共存的网络中,当单个次用户频谱切换和多个次用户频谱切换时,如何保证主用户和次用户的 QoS 以及如何提高系统的整体性能,都是需要研究的问题。

对多用户竞争共享中的协调分配机制研究较少,对各用户服务质量保障方面的研究未见文献涉及。

### 参考文献

- [1] MANGOLD S, BERLEMANN L, WALKE B. Equilibrium analysis of coexisting IEEE 802.11e wireless LANs[C]. In Proc. IEEE PIMRC'03, Beijing, China, Sep. 2003:321-325.
- [2] ATTAR A, NAKHAI M R, AGHVAMI A H. Cognitive radio game: a framework for efficiency, fairness and QoS guarantee[J]. IEEE Communications Society, 2008:4170-4174.
- [3] FRIDMAN A, WEBER S, DANDEKAR K R, et al. Cross-Layer ulticommodity capacity expansion on ad hoc wireless networks of cognitive radios[J]. IEEE Communications Society, 2008.
- [4] AL-FUQAHA A, KHAN B, RAYES A, et al. Opportunistic channel selection strategy for better QoS in cooperative networks with cognitive radio capabilities [C]. IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, 2008, 26 (1):156-167.
- [5] CHEN Yan, YU Guan Ding, ZHANG Zhao Yang, et al. On cognitive radio networks with opportunistic power control strategies in fading channels [J]. IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, 2008, 7(7):2752-2761.
- [6] SHI Q, TAUBENBEIM D, KYPEROUNTAS S, et al. Link maintenance protocol for cognitive radio system with OFDM PHY [J]. IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks, 2007:440-443.
- [7] ZHU X, SHEN L, YUM T-S P. Analysis of cognitive radio spectrum access with optimal channel reservation[J]. IEEE Communications Letters, 2007, 11(4): 304-306.
- [8] WANG Li Chun, ANDERSON C. On the performance of spectrum handoff for link maintenance in cognitive radio[J]. Wireless Pervasive Computing, 2008. ISWPC 2008. 3rd International Symposium on 7-9 May, 2008: 670-674.
- [9] GIUPPONI L, PEREZ-NEIRA A I. Fuzzy-based spectrum handoff in cognitive radio Networks [J]. Cognitive Radio Oriented Wire-

less Networks and Communications, 2008. CrownCom 2008. 3rd International Conference on 15-17 May, 2008: 1-6.

- [10] SU Hang; ZHANG Xi. Channel-hopping based single transceiver MAC for cognitive radio networks[J]. 2008: 197-202.
- [11] WANG Chun Li, WANG Chung Wei. Spectrum handoff for cognitive radio networks: reactive-sensing or proactive-sensing [J]. IEEE, 2008:343-348.
- [12] LIU Hong Jie, WANG Zhong Xu, LI Shu Fang, et al. Study on the performance of spectrum mobility in cognitive wireless network [J]. 11th IEEE Singapore International Conference, 2008: 1010-1014.
- [13] TIMMERS M, POLLIN S, DEJONGHE A, et al. Accumulative Interference modeling for cognitive radios with distributed channel access[J]. Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, 2008: 1-7.
- [14] HONG Xue Min, WANG Cheng Xiang, THOMPSON J. Interference modeling of cognitive radio networks [J]. Vehicular Technology Conference, 2008:1851-1855.
- [15] LI Kin Fai, LAU Wing Cheong, YUE On Ching. Link restoration in cognitive radio Networks[J]. IEEE International Conference, 2008: 371-376.
- [16] YU Wei, GINIS G, CIOFFI J M. Distributed multiuser power control for digital subscriber lines [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2002, 20:1105-1115.
- [17] WANG Fan, KRUNZ M, CUI Shu Guang. Spectrum sharing in cognitive radio networks [J]. INFOCOM 2008, The 27th Conference on Computer Communications, IEEE, 2008: 1885-1893.
- [18] WANG W, LIU X. List-coloring based channel allocation for open spectrum wireless networks. Proceedings of VTC, 2005.
- [19] ZHANG Lan, LIANG Ying Chang, Yan Xin. Joint beamforming and power allocation for multiple access channels in cognitive radio networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2008, 26(1):38-51.
- [20] RASHID M M, HOSSAIN J, HOSSAIN E, et al. Opportunistic spectrum access in cognitive radio networks: a queueing analytic model and admission controller design [J]. IEEE GLOBECOM 2007 proceedings, 2007 :4647-4652.
- [21] ZHENG H, CUI P. Collaboration and fairness in opportunistic spectrum access [J]. 2005 IEEE International Conference, 2005, 5: 3132-3136.

(收稿日期:2009-10-14)

### 作者简介:

董灿,男,1980年生,硕士,主要研究方向:新一代宽带无线移动通信网;

程琼,女,1984年生,主要研究方向:网络管理。

《微型机与应用》2010年第2期