

认知网络中基于竞价模型的频谱分配研究 *

刘振坤¹, 鲜永菊^{1,2}, 徐昌彪²

(1. 重庆大学 通信工程学院, 重庆 400044; 2. 重庆邮电大学 移动通信重点实验室, 重庆 400065)

摘要: 研究了动态频谱分配的现状, 提出基于竞价模型的频谱分配算法设计应关注的三个主要问题。针对目前基于竞价的分配模型中没有保证授权用户的 QoS 的缺点, 通过频谱质量分级和服务质量分级, 设计了一个竞价频谱分配方案。在该方案中提出干扰价格的概念, 并且把干扰价格作为竞价人竞标价格的重要组成部分。仿真结果表明, 干扰价格能保证主用户的 QoS。

关键词: 频谱分级; 竞价; 服务质量分级; 干扰价格

中图分类号: TP84 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)03-1006-03

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2010.03.054

Research of spectrum allocation based on bidding model in cognitive radio networks

LIU Zhen-kun¹, XIAN Yong-ju^{1,2}, XU Chang-biao²

(1. College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. Key Laboratory of Mobile Communications, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: This paper researched the status quo of the dynamic spectrum allocation, and proposed three main problems on dynamic spectrum allocation algorithm based on bidding model. While the QoS of license user was not considered in existing spectrum allocation based on bidding, in order to solve this problem, designed a new scheme of spectrum allocation based on bidding by the spectrum quality classification and the quality of service grading. The scheme presented the concept of interference pricing and set it as an important component of the bidding price. Numerical result shows that the propositional interference pricing can guarantee the QoS of primary user.

Key words: spectrum grading; bidding; QoS grading; interference pricing

随着社会进步和无线通信技术的发展, 人们已不再局限于语音通话, 而更多的是进行视频和高清图像的传输以及更高速率的下载等。因此, 人们对无线通信业务需求与无线频谱资源的匮乏之间的矛盾越来越尖锐, 造成这个矛盾的原因与当前的固定的频谱分配政策有关。美国 Shared Spectrum 公司^[1] 在 2007 年对纽约和芝加哥市的 30 MHz ~ 3 GHz 所有已经分配业务的频段进行频谱利用率测量对比, 对比结果表明, 所有已分配业务的频谱段的利用率都较低, 利用率最高的是 TV 业务频段, 但也仅有 75% 左右, 而大部分频段的利用率都低于 25%。由此可见, 提高现有频谱资源的利用率是解决上述矛盾的重要途径, 认知无线电技术应运而生。认知无线电通过监测授权用户(primary user, PU)使用的频段, 感知其频谱空洞, 分析已检测到的频谱空洞的特性, 根据频谱空洞的特性和次用户(secondary user, SU)的频谱需求, 把合适的频谱洞分配给 SU 用来传输数据, 以此提高了授权频段的频谱利用率。

由上述可知, 动态频谱资源分配(dynamic spectrum allocation, DSA)是认知无线网络中关键技术之一, 英国 Surrey 大学的 Leaves 等人^[2] 早在 2001 就提出了动态频谱分配的概念, 随后通过多篇论文进行了更深入的阐述。微观经济学中的博

弈论是研究冲突与合作的有效方法, 而竞价模型是博弈论中非常有用的工具, 竞价也是分配稀缺资源的有效方法。由竞价机制而制定的认知无线电动态频谱资源分配方案在近年来得到广泛的研究, 而且已经被证明是解决认知无线电网络中频谱分配问题的最有效的方法之一。Musku 等人^[3] 论在时域实现频谱分配。而 Chen Bin 等人^[4] 采用首价和次价密封投标竞价建立了信道分配的拍卖模型, 给出了估价函数 v_i , 并求出了竞标价格。但在上述竞价过程中, PU 的服务质量(quality of service, QoS)并没有得到保证。

1 基于竞价的 DSA 算法关注的问题

在认知无线网络中, SU 择机寻找频谱空洞接入信道, 这造成 DSA 与传统的频谱资源分配在算法设计上有很大差别, 两者所关注的问题也极大的不同。DSA 所关注的焦点包括认知网络干扰、认知无线电系统的效用和用户间的公平性等。而基于竞价模型的 DSA 算法不存在用户间的公平性问题, 但其除了上述问题外, 还有自己独特的方面。本文主要从以下三个方面进行分析:

收稿日期: 2009-07-18; **修回日期:** 2009-09-02 **基金项目:** 重庆市教育委员会科学技术研究基金资助项目(KJ090502); 重庆大学研究生科技创新基金重点项目(200904B1A0010306)

作者简介: 刘振坤(1983-), 男, 河南上蔡人, 硕士, 主要研究方向为动态频谱资源分配(85507575@163.com); 鲜永菊(1973-), 女, 副教授, 博士, 主要研究方向为认知无线电、动态频谱管理及网络安全技术; 徐昌彪(1972-), 男, 教授, 博士后, 主要研究方向为无线宽带接入技术、虚拟现实及光突发交换等。

a) 博弈竞价模型的类型。价格竞争下的动态频谱分配问题模型像一个寡头市场。PU 拥有频谱资源,而次用户要竞拍该资源。采用何种竞价模型尤为重要,它会对系统的效用产生很大影响。竞价的类型主要有双向竞价、荷兰式竞价、英国式竞价、首价密封投标竞价和次价密封投标竞价等。在频谱供给大于 SU 的频谱需求时,可以采用荷兰式竞价,PU 给出频谱的初始最高价格,竞价过程中逐渐降低该价格,直到有第一个投标者接受当前价格为止;当频谱供给小于 SU 的频谱需求时,可采用上述后三种竞价模型。在上述竞价博弈模型中,竞价人的状态也会对算法设计产生影响。竞价人之间可以是非合作的,SU 选择合适的策略使自己的收益最大化。在非合作竞价模型中,SU 的状态又可分完全信息即所有竞价人的策略空间和策略空间下的支付等信息对其他竞价人来说已是已知的,反之是非完全信息的;竞价人之间也可以进行合作竞价,结成不同的频谱竞价联盟,竞价成功后,按照一定的策略把获得的频谱分配给联盟成员。另外,基于博弈竞价模型的 DSA 算法设计要保证纳什均衡的存在性,否则,设计的算法不具备现实意义。

b) 次用户真实报价问题。在基于竞价模型的 DSA 算法设计中,如果算法设计不当就会产生真实报价问题。竞价人在竞价过程中如果没有提交真实报价,系统会把过量的频谱空洞分配给那个虚假报价的 SU,这样会造成频谱利用率的二次降低。所以竞价人是否真实报价是不可忽视的问题,它直接影响到认知无线电系统的吞吐量和 PU 的效用。为了使竞价人真实竞价,设计的算法要采用激励机制和惩罚机制,即对真实竞价的用户进行利润激励,而非真实竞价的用户进行惩罚。在次价密封投标竞价模式下,第二高价竞价人获得频谱,所以这种竞价模式可以诱导竞价人真实地披露报价信息,即次价密封投标竞价模式本身具有激励相容特性。

c) QoS 问题。认知网络中的 QoS 包括两个方面,即 PU 和 SU 的 QoS。在基于竞价模型的频谱分配算法设计中, SU 通过提交一个竞标价格获得频谱,PU 的 QoS 并没有得到保证。如何设计该竞标价格以保证 PU 的 QoS 以及 SU 的 QoS,成为算法设计关注的重要问题之一。

2 基于竞价模型的频谱分配

2.1 QoS 分级和频谱分级

通过频谱感知技术获得频谱空洞,而这些频谱的质量状况是不同的,所以在对已经感知到的频谱进行分配之前,首先对这些频谱进行分级。可以按照认知无线网络不同的频谱参数进行频谱分级。美国联邦通信委员会(Federal Communications Commission, FCC)提出的干扰温度可以作为频谱分级的一个标准^[5],文中并把频谱质量级别作为认知无线网络合理选择操作参数的重要参考指标。根据感知到的频谱空洞的带宽和干扰状况进行分级,把这些频谱分为适合不同业务的等级,如语音、视频和高速下载等;也可以把该频谱空洞的 PU 唤醒的概率作为频谱分级的一个标准。假设在独占式频谱共享的情况下,PU 唤醒的概率等于频谱切换的概率^[6],PU_i 在频谱空洞 *j* 唤醒的概率为 p_{ij} ,

$$p_{ij} = \int_0^{T_{req,i}} \lambda_j e^{-\lambda_j t} dt = 1 - e^{-\lambda_j T_{req,i}}$$

其中 λ_{jh} 频谱空洞服从负指数分布,其分布参数为 λ_j ; *B* 是频谱空洞的带宽, SINR 是在 SU 频谱空洞的信干噪比, *M* 是 SU 服务流量的总数, T_{req} 为

$$T_{req} \approx \frac{M}{B \cdot \log(1 + SINR)}$$

授权用户出现概率较低的频谱空洞具有较高频谱等级,适合对频谱占用时间较长的业务。另外,对 SU 的 QoS 也进行分级。根据 SU 不同的业务对时延、丢包率和误码率等要求的不同,可以采用优先级函数^[7]把 SU 要求的 QoS 分成不同的等级,使得每种业务的 QoS 需求类型能够与一个频谱质量级别相对应。

2.2 干扰价格

对 PU 干扰程度是认知网络中的重要参考指标。SU 对 PU_{*k*} 的干扰为

$$N_k = \sum_{i=1}^n P_i G_{i,k} f_i$$

其中: P_i 是 SU_{*i*} 的发射功率; $G_{i,k}$ 是信道增益; $f_i \in \{0, 1\}$, $f_i = 1$ 表示 SU 与 PU 共用同一信道。SU 对 PU_{*k*} 的干扰要不大于预设的阈值 τ_k , 即 $N_k \leq \tau_k$ 。为了限制 SU 对 PU 的干扰,提出干扰价格的概念,并把干扰价格作为 SU 竞标价格的组成部分。 η_i 是 SU_{*i*} 的干扰价格因子,表示单位功率应付的费用, SU_{*i*} 的干扰价格可以定义为

$$I_i = -\eta_i P_i G_{i,k} f_i$$

2.3 竞价模型

基于竞价模型的资源分配框架分为三个层次(图1),即次用户层、代理层和频谱资源层。每个 SU 在代理层都有一个频谱资源代理与之对应,并由该代理负责 SU 频谱资源的分配和管理。如果认知无线网络中有 *k* 个 SU, 则 $S = \{1, 2, \dots, k\}$ 表示 SU 的集合, 与其对应的频谱资源代理为 $AG = \{ag_1, ag_2, \dots, ag_k\}$ 。已检测频谱被动态地登记在频谱信息服务(spectrum information service, SIS)上, SIS 根据已登记频谱的频谱状况,对已检测频谱进行分级,把已检测频谱分为适合不同的业务频谱等级。SU 可以通过其频谱资源代理(spectrum resource agent, SRA)在 SIS 上查询注册的频谱资源配置及状况。当有频谱资源被检测到时,已检测频谱需要向 SIS 注册;反之,当已注册的频谱资源被 PU 唤醒时,对应的 SIS 要撤销该频谱资源的注册。如果 SU 有任务要执行, SU 首先要将频谱需求信息提交给其 SRA, SRA 对 SU 的频谱需求进行估价并计算其干扰价格。SIS 与 SRA 互通信息后, SIS 对 SU 的 QoS 进行分级;然后 SRA 从 SIS 中获取频谱资源信息,根据频谱资源信息, SRA 开始竞价;最后 SRA 把通过竞价获得的频谱资源分配给执行任务。

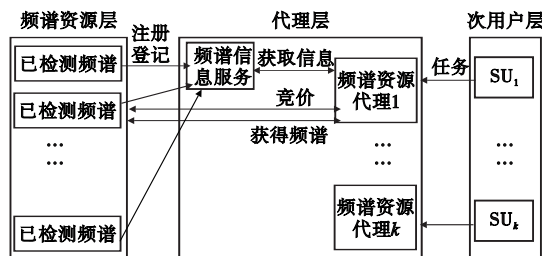


图1 竞价频谱资源分配框图

2.4 算法描述

基于竞价模型的频谱分配在竞价人开始竞价时,首先对其需求进行估价,修正后的估价函数为

$$v_i = 1 - \frac{\lambda}{\log_2(1 + SINR)}$$

$$SINR_i = \frac{p_i h_{ii}}{\sum_{j \neq i} p_j h_{ji} f_j + \sum_k p_k h_{ik} f_k + N_0}$$

图 2 为基于竞价频谱分配算法设计的流程。

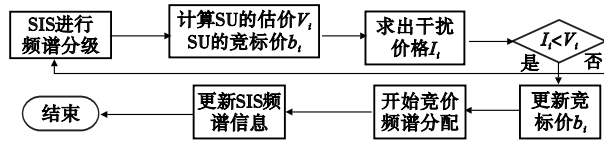


图2 算法设计流程示意图

3 数值结果

文中对干扰价格 I_i 和价格因子 η_i 对竞价方案的影响进行了仿真分析。假设文中的无线网络模型中分布着两个主用户和五个次用户。信道带宽为 1 MHz, 所有次用户的发射功率为 0.02 W, 主用户的发射功率为 0.5 W, 包的到达率 $\lambda = 0.05$ packet/ms, 信道增益 $h_{ii} = 1, h_{ji} = 0.25$, 高斯噪声设为 $N_0 = 10^{-14}$ W。由图 3 可知, 文献中的方案在竞价过程中随着 I_i 增加时, SU_i 竞标价格也在增加, 最后具有较大干扰的 SU_i 也能因竞价成功获得频谱, 导致 PU 对造成较大干扰。与文献中的方案相比, 文中的方案随着 I_i 的增加时, SU_i 的竞标价格在降低, 最终导致竞标不成功, 即具有较大干扰的 SU_i 不能获得频谱, 减少了对 PU 干扰, 从而保证了主用户的 QoS。由图 4 可知, 价格因子可以显著地影响 SU_i 的竞标价格, 系统可以通过它来控制竞价人的竞价状态。

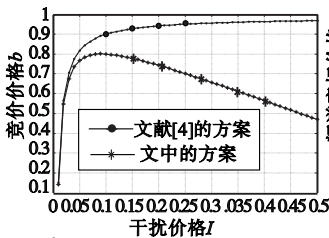


图3 干扰价格对竞价方案影响

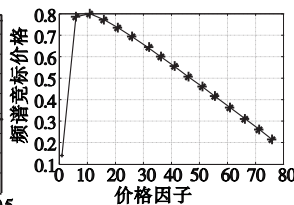


图4 价格因子对频谱估价的影响

(上接第 991 页) 样本的隶属度确定问题。但是, 该方法也存在一些缺点: 一是训练好的网络是针对特定监视场景的, 不同的场景需要重新训练网络; 二是训练样本的分类依赖于人的主观判断。这些问题是下一步工作的研究重点。

参考文献:

[1] VELASTIN S A, BOGHOSSIAN B A, LO B P L, et al. PRISMATICA: toward ambient intelligence in public transport environments [J]. IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics, Part A, 2005, 35(1): 164-182.

[2] 梁英宏, 王知行, 曹晓叶, 等. 视频图像理解的一般性框架研究 [J]. 计算机应用研究, 2008, 25 (7): 2203-2207.

[3] VIOLA P, JONES M J, SNOW D. Detecting pedestrians using patterns of motion and appearance [C]// Proc of the 9th IEEE International Conference on Computer Vision. Washington DC: IEEE Computer Society, 2003: 734-741.

[4] CHEN Li, TAO Ji, TAN Ya-peng, et al. People counting using iterative mean-shift fitting with symmetry measure [C]// Proc of the 6th International Conference on Information and Communication Security. 2007: 890-895.

[5] MARANA A N, CAVENAGHI M A, ULSON R S, et al. Real-time crowd density estimation using images [C]// Proc of International Symposium on Visual Computing. Berlin: Springer, 2005: 355-362.

[6] BOZZOLI M, CINQUE L. A statistical method for people counting in crowded environments [C]// Proc of the 14th International Confer-

4 结束语

本文阐述了基于竞价的频谱分配算法设计所关注的主要问题, 提出了一个具有保证主用户 QoS 的竞价频谱分配模型, 并进行了仿真实验。未来的任务是在上述工作的基础上进行竞标价格和干扰价格的数学分析, 建立干扰价格因子的数学模型, 并在此基础上对所提方案的性能与正确性进行进一步的仿真实验和评估。

参考文献:

[1] Shared Spectrum Company (SSC). Dynamic spectrum use [EB/OL]. (2007-04-25) [2009-06-23]. <http://www.sharedspectrum.com>.

[2] LEAVES P, MOESSNER K, TAFAZOLLI R, et al. Dynamic spectrum allocation in composite reconfigurable wireless networks [J]. Communications Magazine, 2004, 42(5): 72-81.

[3] MUSKU M R, COTAE P. Cognitive radio time domain spectrum allocation using game theory [C]// Proc of Systems Engineering, IEEE International Conference. 2007: 1-6.

[4] CHEN Bin, HOANG A T, LIANG Ying-chang. Cognitive radio channel allocation using auction mechanisms [C]// Proc of Vehicular Technology Conference. 2008: 1564-1568.

[5] 吴非, 陈, 廖楚林, 等. 认知无线网络中基于需求的多小区频谱分配算法 [J]. 计算机应用, 2008, 28(1): 20-22.

[6] JO O PARK J, CHO D. QoS provisioning spectrum management based on intelligent matching and reservation for cognitive radio system [C]// Proc of the 2nd International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications. 2007: 530-534.

[7] LI Jian-ying, XU Bin-yang, XU Zhang-jing, et al. Adaptive packet scheduling algorithm for cognitive radio system [C]// Proc of Communication Technology, International Conference. 2006: 1-5.

ence on Image Analysis and Processing. Washington DC: IEEE Computer Society, 2007: 506-511.

[7] VELASTIN S A, YIN J H, DAVIES A C, et al. Automated measurement of crowd density and motion using image processing [C]// Proc of the 7th International Conference on Road Traffic Monitoring and Control. London, UK: [s. n.], 1994: 127-132.

[8] BOGHOSSAN B A, VELASTIN S A. Motion-based machine vision techniques for the management of large crowds [C]// Proc of the 6th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems. 1999: 961-964.

[9] MARANA A N, VELASTIN S A, COSTA L F, et al. Estimation of crowd density using image processing [C]// Proc of IEE Colloquium on Image Processing for Security Applications. London, UK: [s. n.], 1997: 1-8.

[10] MARANA A N, VELASTIN S A, COSTA L F, et al. Automatic estimation of crowd density using texture [J]. Safety Science, 1998, 28(3): 165-175.

[11] MARANA A, Da COSTA L, LOTUFO R, et al. On the efficacy of texture analysis for crowd monitoring [C]// Proc of Computer Graphics, Image Processing, and Vision. Washington DC: IEEE Computer Society, 1998: 354-361.

[12] 胡波, 李晓华, 沈兰荪. 场景监控中的人群密度估计 [J]. 电路与系统学报, 2007, 12(6): 19-22.

[13] 郭森, 严和平, 柳伟. 基于灰度共生矩阵的密集人群人数估计 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(28): 169-171.