

认知网络中基于竞价模型的切换频谱分配

吴 琼¹, 鲜永菊^{1,2}, 徐昌彪²

(1. 重庆大学通信工程学院, 重庆 400030; 2. 重庆邮电大学移动通信重点实验室, 重庆 400065)

摘 要: 通过对最新竞价算法的分析, 针对频谱分配过程中频谱使用率低下的缺点, 提出一种认知无线电中基于竞价机制的具有较高频谱使用率的频谱分配算法。引入干扰价格, 通过设置干扰价格指数, 降低系统干扰, 保证主用户的服务质量。数值仿真结果表明, 该算法通过多次分配有效地提高了频谱的利用率, 增加了系统的吞吐量。

关键词: 认知无线电; 频谱分配; 干扰价格; 竞价

Handover Spectrum Allocation Based on Bidding Model in Cognitive Networks

WU Qiong¹, XIAN Yong-ju^{1,2}, XU Chang-biao²

(1. College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Key Laboratory of Mobile Communications, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

【Abstract】 Grounded on the analysis of the latest bidding algorithm, contra posing to low utilization of spectrum in spectrum allocation, a bidding mechanism-based spectrum allocation algorithm of high spectrum utilization is proposed in Cognitive Radio(CR). And the interference pricing is introduced which makes the system interference reduced by setting the interference pricing index, then the quality of service of primary user is ensured. Simulation results demonstrate that the proposed algorithm is effective to improve the spectrum utilization and increase system throughput by multiple allocation.

【Key words】 Cognitive Radio(CR); spectrum allocation; interference price; bidding

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.12.024

1 概述

随着无线通信的飞速发展, 无线频谱资源越来越紧张。无线频谱资源紧缺主要是由当前的频谱授权分配政策造成的。据调查, 授权频谱在很大程度上都处于空闲状态。认知无线电(Cognitive Radio, CR)技术是提高授权频谱利用率的一种有效手段。在认知无线电技术中, 把处于空闲状态的授权频谱称作频谱空洞^[1], 认知无线电技术通过次用户(Secondary User, SU)机会式的接入主用户(Primary User, PU)的授权频谱, 使用频谱空洞进行通信, 从而提高频谱利用率。

在认知无线网络中, 当次用户对主用户的干扰或者干扰超过一定的门限值时, 次用户就会发生频谱切换。为了保证次用户的通信正常进行, 当次用户在发出切换请求后, 只有无缝获得相应的频谱资源才能使其服务质量得到保证, 因此, 切换时的频谱资源分配策略是至关重要的。文献[2]提出了一种基于竞价的抑制共谋的动态频谱分配方法, 不仅对参与竞价的自私用户采用了激励机制, 而且防止一些用户间的共谋问题。文献[3]提出构建一个合作双赢情况的频谱管理政策, 这种政策可以同时满足多方的要求。文献[4]提出一种典型的密封竞价拍卖机制, 该机制可以大大提高系统的吞吐量。此外, 文献[5]把拍卖机制使用到频谱分配中, 同时介绍了第1价格密封竞价和第2价格密封竞价, 而且对这2种竞价机制进行了改进。这些文献都通过竞价或拍卖机制对动态频谱分配进行了研究, 但是都没有深入地考虑主用户的QoS保证问题。针对文献中的算法在频谱分配过程中主用户的QoS没有得到保证, 而且频谱使用率低下的缺点, 本文提出一种基于拍卖竞价机制的频谱分配算法, 通过设置干扰价格保证

了主用户的服务质量(Quality of Service, QoS), 通过空闲频谱的多次分配提高了频谱使用率。

2 系统模型

认知无线网络中的次用户是具备认知能力的节点, 在主用户不占用信道或正在使用但自己的使用不会对其造成过大干扰的情况下可以使用信道^[6]。本文考虑一个具有多个切换请求的次用户和主用户同时存在的认知网络。在该认知网络中, 可利用的授权频谱(频谱空洞)数为 A 个, 假设检测到的频谱空洞都是正确的。

对于一个特定的频谱空洞 a , 每个次用户都想作为自己的切换频谱使用, 但在每个时间段内只允许一个次用户切换到该频谱空洞 a 上。设计的算法是次用户通过提交竞价价格以获得该频谱资源。系统模型中的每个用户都是自私理智的, 它们的目标是各自利益的最大化, 因此, 拍卖人把频谱空洞 a 分配给竞价价格最高的次用户作为其切换信道。为了防止出现赢得竞价的次用户在使用该频谱的过程中, 另一个次用户以更高的价格竞拍该频谱, 从而造成这个次用户再次中断通信的情况发生, 假设对次用户已经竞拍成功的频谱空洞在一个特定的时间段内, 其余的具有切换请求的次用户不得再

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60972068); 重庆大学研究生科技创新基金资助重点项目(200904B1A0010306); 重庆市教育委员会科学技术研究基金资助项目(KJ090502)

作者简介: 吴 琼(1984—), 女, 硕士, 主研方向: 动态频谱资源分配; 鲜永菊, 副教授、博士; 徐昌彪, 教授、博士后

收稿日期: 2010-12-09 **E-mail:** wuqiong9988@163.com

次竞拍。

把已检测的授权空闲频谱收集起来看作一个频谱池, 这些频谱来自 N 个不重叠的信道。假设该系统模型中的主用户个数为 J 、次用户个数为 K , 分别用 $p = \{p_1, p_2, \dots, p_J\}$ 和 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_K\}$ 表示。可用频谱集用 $A_i = \{a_i^j\} | j \in (1, 2, \dots, n_i)$ 表示, 此处 n_i 表示 A_i 中的信道总数。假设所有的数据包都服从参数为 λ 的泊松分布, 具有相同的包长度和包死亡时间。

3 高频谱使用率的切换频谱分配算法

3.1 拍卖模型

非授权用户在进行频谱切换时重要的一步是如何进行切换时的频谱分配, 也就是说如何利用现有资源继续完成通信。只有完成资源分配, 切换才能得以进行。在市场经济学中, 拍卖是解决稀缺资源的有效分配方法, 因此, 本文采用拍卖模型对切换时所需的频谱资源进行分配。该模型模仿了现实中的拍卖过程, 假设物品 w 的价格为 p_w , 那么获得该物品的人就要付相应的价钱, 人 u 与获得物品 w 后所得的效益为 a_{uw} , 则所得利润为 $a_{uw} - p_w$, 要使获得 w 后的利润最大, 亦即 $a_{uw} - p_w = \max \{a_{uw} - p_w\}$, 就必须通过竞价获得利润最大的物品。在认知无线电技术中, 把可用的频谱空洞放在一起即为频谱池, 在拍卖模型中, 频谱空洞即为待拍卖的物品; 次用户充当竞拍人; 为了简化问题, 文中假设所以主用户共同使用一个代理拍卖人。次用户通过提交竞标价格期望从拍卖人手里获得主用户的频谱空洞。文中使用的拍卖模型如图 1 所示, 主用户可以拍卖的授权频谱都在一个频谱池里, 由拍卖人代理拍卖, 次用户通过提交合适的竞价价格从拍卖人处获得频谱。

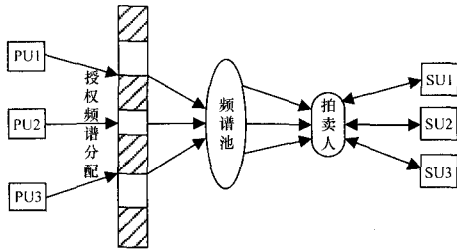


图1 拍卖模型

3.2 竞价机制

在拍卖竞价的模型中, 在提交竞价价格之前, 竞拍人(次用户)首先要对所竞拍物品(频谱空洞)进行估价 v_i , 这里的估价即为竞拍人竞拍成功从拍卖人手里获得所需物品后所得到的效益。在竞价过程中, 次用户首先向拍卖人提交一个竞标价 b_i , 然后拍卖人从不同次用户提交竞标价中选出最高的一个, 把频谱拍卖给对应的次用户, 即该次用户竞拍成功。很明显, 实际的拍卖中次用户提交的竞标价应该不大于对该物品的估价。现有的拍卖竞价机制在估价函数和竞价函数的设置上都有很多不同, 文献[5]中给出的估价函数 v_i 如式(1)所示:

$$v_i = 1 - \frac{\lambda}{\ln(1 + \frac{h_i p}{N_0})} \quad (1)$$

其中, λ 为包的到达率, 服从泊松分布; h_i 为用户 i 的发射机和接收机之间的信道系数; p 为次用户传输功率; r 表示最低保留价。

3.3 干扰价格

在前文所述的竞价机制中, 从式(1)中可以看到估价函数 v_i 与包的到达率和信噪比有关, 但是忽略了主用户与次用户

之间的干扰问题。然而认知无线电技术就是要求次用户在伺机接入主用户授权频谱时, 不对主用户带来干扰或者干扰在一定的范围内, 保证主用户的 QoS。当主用户和次用户共同使用同一信道时, 要保证主用户的 QoS 要求, 干扰是不容忽视的问题。针对这个问题, 本文提出了干扰价格。

为给出干扰价格, 首先定义任一个主用户所受的干扰为:

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{B_i} G f_i$$

其中, n 为次用户的个数; p_i 为次用户的发射功率; B_i 为次用户所占信道的带宽; G 为信道增益; f_i 表示次用户 i 是否与主用户同时存在。当 $f_i = 0$ 时, 表示主用户与次用户 i 不共存, 此时次用户 i 对主用户的干扰为 0; 反之, 当 $f_i = 1$ 时, 表示次用户 i 与主用户共存, 可能会对主用户带来干扰。

针对次用户与主用户之间的干扰问题, 为了在竞价过程中更好地体现出干扰因素的重要性, 提高 QoS, 定义干扰价格为:

$$C_i = \alpha_i \frac{P_i}{B_i} G f_i$$

其中, α_i 表示价格因子。干扰价格表示了次用户要为自己的行为对主用户造成的干扰进行付费, 在进行竞价的过程中, 干扰价格作为竞标价格的一部分。则改进后的竞价函数如下:

$$b_i' = b_i - C_i \quad (2)$$

由上式可以看出: 当次用户 i 对主用户的干扰增大时, 干扰价格 C_i 就会很大, 相应的次用户 i 提交的竞标价 b_i' 就会变小, 由于拍卖人会把频谱分配给竞价价格最大的次用户, 因此在竞价过程中干扰较大的次用户就会被淘汰, 这样就保证了主用户的 QoS。

3.4 算法描述

高频谱使用率的切换频谱算法流程如图 2 所示。

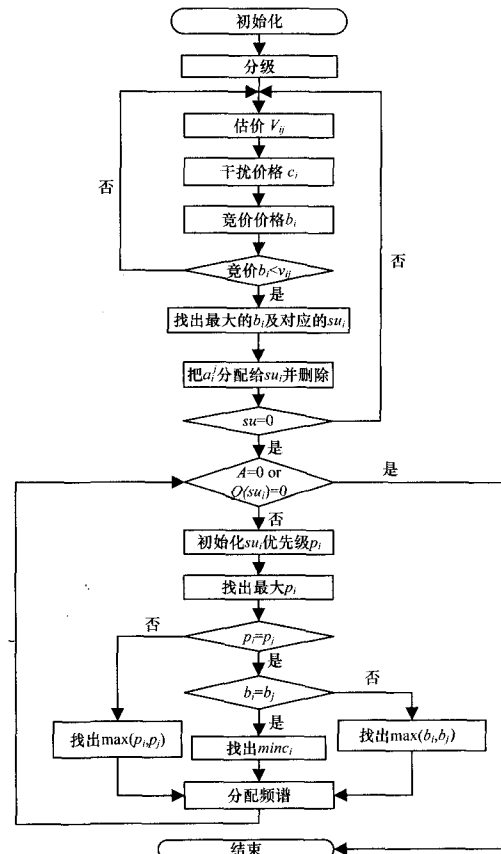


图2 算法设计流程示意图

次用户在开始竞价前首先对频谱空洞进行估价, 然后向拍卖人提交自己的竞价价格。拍卖人根据次用户所提交的竞价价格, 从中选出其最大者, 把频谱分配给相应的次用户, 同时把该次用户做删除标记表示其已获得频谱, 一次竞拍成功。依次循环, 直到所有等待切换的用户都获得频谱。如果此时频谱空洞数目不为 0, 而且次用户仍有需求时, 算法继续进行分配。在该算法中设计一个优先级函数, 然后对所有的次用户进行优先级排序, 找出优先级最高的次用户, 把频谱继续分配给对应的次用户。如果出现 2 个次用户的优先级相同, 则竞价价格大的获得频谱, 如果竞价价格亦相同, 则把频谱分配给干扰价格小的次用户。

4 仿真分析

本文对所提算法进行了仿真, 并且与随机分配方法进行了比较, 如图 3、图 4 所示。

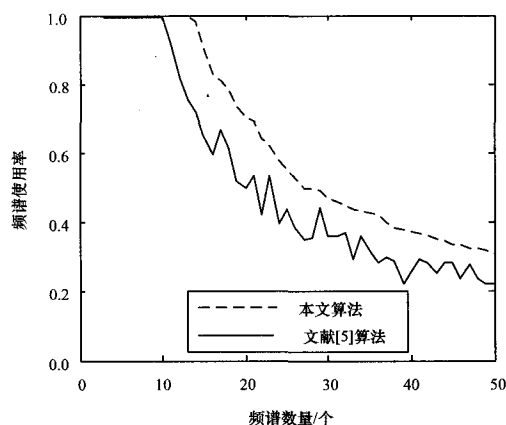


图3 频谱使用率与频谱数量关系

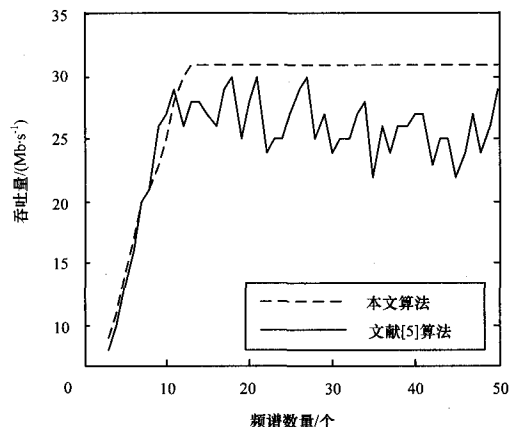


图4 吞吐量与频谱数量比较

假设有切换请求的次用户数为 10 个, 此时频谱池中可用频谱数为 50 个, 干扰价格因子为 0.5, 次用户对信道容量的要求为 2 Mb/s~4 Mb/s 的随机数, 信道容量为 1 Mb/s~5 Mb/s 的随机数。

在图 3 中, 当可用频谱数很少时, 在为具有切换请求的次用户分配频谱过程中, 使用文中提出的算法和文献[5]中算法的频谱使用率无明显区别, 然而随着可用频谱的增多, 本文所提算法的频谱使用率明显优于文献[5]中的算法。

在图 4 中也可以看到, 本文算法与文献[5]中算法相比, 系统吞吐量也有很大提高。可见, 文中提出的基于竞价的算法整体性能较好。

5 结束语

本文分析了影响用户 QoS 的一个重要参数——干扰, 提出了干扰价格, 并且把干扰价格应用到竞价的过程中, 从而使主用户的 QoS 得到了保证。在一般竞价模型的基础上, 提出具有高频谱使用率的频谱分配算法对有切换请求的用户进行频谱分配, 并且进行了仿真分析。下一步任务是在上述工作的基础上对干扰价格因子进行建模分析, 并对提出的方案进行评估。

参考文献

- [1] Haykin S. Cognitive Radio: Brain-empowered Wireless Communications[J]. IEEE Trans. on Communications, 2005, 23(2): 201-220.
- [2] Zhu Ji, Liu K J R. Multi-stage Pricing Game for Collusion-Resistant Dynamic Spectrum Allocation[J]. IEEE Trans. on Communications, 2008, 26(1): 182-191.
- [3] Chang Hung-Bin, Chen Kwang-Cheng, Prasad N R. Auction Based Spectrum Management of Cognitive Radio Networks[C]//Proc. of the 69th Vehicular Technology Conference. Barcelona, Spain: [s. n.], 2009: 1-5.
- [4] Chen R, Li Weiying, Li Jiandong. Auction-based Inter BS Spectrum Sharing for IEEE 802.22 WRAN Systems[C]//Proc. of the 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications. [S. l.]: IEEE Press, 2009: 1787-1791.
- [5] Chen Bin, Hoang A T, Liang Yingchang. Cognitive Radio Channel Allocation Using Auction Mechanisms[C]//Proc. of IEEE Vehicular Technology Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2008: 154-156.
- [6] 杨晨炜, 冷甦鹏. 基于 NS2 的认知无线网络模型[J]. 计算机工程, 2010, 36(5): 111-113.

编辑 顾逸斐

(上接第 70 页)

- [3] Scott J, Pan Hui, Crowcrøn J, et al. HaggLe: A Networking Architecture Designed Around Mobile Users[C]//Proc. of the 3rd Annual IFIP Conf. on Wireless on-Demand Network Systems and Services. Ménuieres, France: IEEE Press, 2006.
- [4] Hull B, Bychkovsky V, Zhang Yang, et al. CarTel: A Distributed Mobile Sensor Computing System[C]//Proc. of the 4th Int'l Conf. on Embedded Networked Sensor Systems. Los Angeles, USA:

ACM Press, 2006: 125-138.

- [5] 吴之铁, 姚世军, 陈振中. 基于移动 Agent 的战术 Ad Hoc 网络通信中间件设计[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(10): 2448-2450.
- [6] 何晓新, 檀友明, 徐帆江, 等. MANET 信息分发订购平台中短猝报文的传送方法: 中国, 200710003415[P]. 2007-08-15.

编辑 张正兴