

认知无线网络中基于多用户公平性的功率分配

陈波¹, 王欢², 唐伦²

(1. 中国人民银行重庆营业管理部, 重庆 401147;

2. 重庆邮电大学 移动通信技术重点实验室, 重庆 400065)

摘要:研究认知无线网络中保证多用户场景下保证用户速率需要的功率分配问题。提出了保证用户公平性的最小化用户实际传输速率与期望速率差值的优化模型,给出了一种集中式功率分配算法1;为了减少迭代次数,提出了一种改进的集中式算法2;最后给出了一种分布式的求解算法3。仿真结果表明,三种求解算法都收敛于最优解,且集中式算法2的迭代次数明显小于集中式算法1,分布式功率分配算法有利于减少实现的复杂度。

关键词:认知无线网络;公平性;功率分配;分布式算法

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)04-0077-04

Power Allocation Based-on Multi-user Fairness in Cognitive Wireless Networks

CHEN Bo¹, WANG Huan², TANG Lun²

(1. People's Bank of China, Chongqing Branch, Chongqing 401147, China;

2. Key Lab of Mobile Communication Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Studies the power allocation for insuring the multi-user fairness. In order to minimize the gap between the user expected rate and achieved rate, an optimization model is proposed. A centralized algorithm 1 of equal power allocation is presented, then the centralized algorithm 2 is proposed to reduce the number of iterations. At last, a distributed algorithm 3 is given to solve the optimal problem. The simulation results show that the three algorithms converge to the optimal solution, and the centralized algorithm 2 significantly less than the number of iterations of centralized algorithm 1. Distributed power allocation algorithm can reduce the implementation complexity.

Key words: cognitive wireless networks; fairness; power allocation; distributed algorithm

0 引言

频谱资源是目前无线网络中最宝贵的资源之一,认知无线电则被认为是解决频谱资源缺乏的关键技术。它能够对不可再生的频谱资源实现再利用,进而缓解频谱的紧缺程度,为用户和网络运营管理带来丰厚的收益。与传统的功率分配相比,认知无线网络中的资源分配面临更多的挑战。制约功率分配的主要因素有可用频谱、认知用户(secondary user, SU)和主用户(primary user, PU)的信道状态、业务特征等。如何通过功率分配提高认知无线网络频谱效率已成为当前的研究热点。

文献[1]研究了认知无线网络中基于认知用户时延约束的功率分配方案。文献[2,3]研究认知无线网络中基于OFDM的功率分配问题。为将认知用户对主用户的干扰功率限制在主用户可容忍的范围内,同时最大化认知用户的传输速率,提出了基于凸优化理论的功率分配方案。文献[4]建立了认知无线网络中基于主用户中断概率约束的最大化认知用户传输速率的最优功率分配方案。文献[5]针对认知无线电系统的协作通信问题,在多个中继节点与源节点协同通信的场景下,提出了一种基于放大转发模式下的功率分配及联合优化算法,在保证主系统传输性能不受影响的前提下,提高认知系统的传输速率。

尽管目前对单个认知用户通过严格的功率控制共享主用户频谱资源已取得了很多研究成果^[6-9],但多个认知用户共享主用户频谱的功率控制方法还需进一步研究。在多用户情况下的资源分配还必须考虑用户

收稿日期:2010-11-08;修回日期:2011-02-21

基金项目:重庆市教育科研计划项目(KJ090501)

作者简介:陈波(1978-),男,重庆合川人,硕士,主要研究领域为计算机网络技术;唐伦,硕士,副教授,主要研究领域为移动通信技术。

间的公平性、业务的优先级等 QoS 指标,因此,文献[10~12]提出了在认知 OFDM 网络中基于多用户公平性的自适应资源分配方案。针对多用户场景下保证用户公平性的功率分配缺乏深入研究;目前主要研究的功率分配问题多是以最大化容量或最小化中断概率等为优化目标,没有考虑不同用户的需求速率问题。文中根据不同用户的速率需求,提出了保证用户公平性的最小化各用户实际传输速率与期望速率差值的优化模型,并提出了三种求解算法。

1 系统模型

考虑 N 对认知用户收发信机与一对主用户收发信机之间的频谱共享问题。假设 N 对认知用户才用 CDMA 方式与主用户同时占用相同的频段进行通信,但认知用户的发射功率需满足主用户接收端的干扰限制,多用户认知无线网络系统模型如图 1 所示,其中实线为通信链路,虚线为干扰链路。

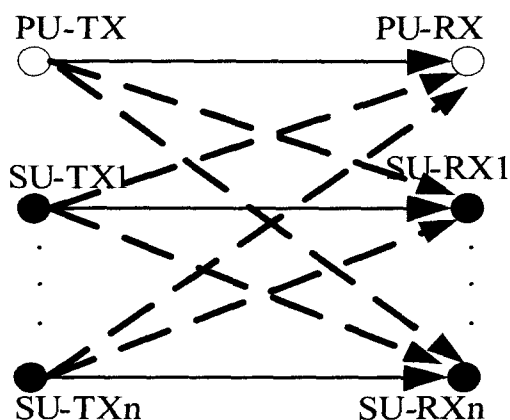


图 1 系统模型

认知用户信干比:

$$\text{SINR}_i = \frac{G_{ii} F_{ii} P_i}{\frac{1}{K} \sum_{j=1, j \neq i}^N G_{ij} F_{ij} P_j + G_{i0} F_{i0} P_0 + \eta} \quad (1)$$

其中 K 为扩频增益, P_i 与 G_{ii} 分别表示第 i 个认知用户的发射功率和对应接收机之间的链路增益, F_{ii} 为相关衰落系数。 P_0 与 G_{i0} 分别为主用户的发射功率和主用户到认知用户 i 之间的干扰链路增益。类似, G_{0i} 表示认知用户 i 到主用户之间的干扰链路增益。

2 优化模型

大多数文献都假设各认知用户具有相同的速率需求,但在实际通信系统中,受业务类型和用户优先级等方面的影响,不同用户具有不同的速率需求。因此,文中将研究认知无线网络中基于多用户速率需求的功率分配问题,即如何进行功率分配以保证 N 个认知用户

达到各自的速率需求,使各用户的实际传输速率 R_i 与期望速率 R_d^i 差值的绝对值之和最小,优化问题可描述如下:

$$\begin{aligned} P1: \min & \sum_{i=1}^N |R_i - R_d^i| \\ \text{s. t. C1: } & \sum_{i=1}^N P_i G_{0i} \leq I_{th} \\ & C2: 0 \leq P_i \leq P_{\max} \end{aligned} \quad (2)$$

约束条件 C1 保证了主用户的 QoS, C2 使各认知用户满足最大发射功率限制。由于优化问题 P1 为一个非线性、非凸优化问题,文中提出了三种次优的启发式算法,使求得的可行解趋于全局最优。

3 算法描述

(1) 集中式迭代功率分配算法 1。

步骤 1: 初始功率分配: 每个认知用户分配相等的功率,且满足干扰约束条件 C1 和 C2。

步骤 2: 迭代 $t = 1: T_{\max}$

① 计算每个用户 t 时刻的实际传输速率 $R_i^t(t)$, 如果满足约束条件 $\max_{i \in \{1, \dots, N\}} \frac{R_i^t(t)}{R_d^i} \leq 1 + \epsilon$ 且 $\min_{i \in \{1, \dots, N\}} \frac{R_i^t(t)}{R_d^i} \geq 1 - \epsilon$, 则转至步骤 3; 否则:

若 $R_i^t(t) > R_d^i$, 则 $P_i(t+1) = P_i(t) - \Delta p$;

若 $R_i^t(t) < R_d^i$, 则 $P_i(t+1) = P_i(t) + \Delta p$;

② 判断 $P_i(t)$ 是否满足约束条件 C1 和 C2。若满足, 则用户 i 分配的功率为 $P_i(t)$; 否则 $P_i(t+1) = P_i(t)$, 并转至步骤 3。

步骤 3: 结束。

(2) 集中式算法 2。

步骤 1: 初始功率分配: 每个认知用户分配相等的功率,且满足干扰约束条件 C1 和 C2。

步骤 2: 迭代 $t = 1: T_{\max}$

① 计算每个用户 t 时刻的实际传输速率 $R_i^t(t)$;

② 如果 $R_i^t(t)$ 满足约束条件 $\max_{i \in \{1, \dots, N\}} \frac{R_i^t(t)}{R_d^i} \leq 1 + \epsilon$ 且 $\min_{i \in \{1, \dots, N\}} \frac{R_i^t(t)}{R_d^i} \geq 1 - \epsilon$, 则转至步骤 3; 否则按下述规则更新功率:

$$P_i(t+1) = \min \left\{ P_i, \frac{R_{id}}{R_{ir}(t)} P_i(t) \right\}$$

步骤 3: 结束。

$$\text{其中 } P_i = \min \left\{ P_{\max}, \frac{G_{0i} F_{0i} I_{th}}{\sum_{i=1}^N (G_{0i} F_{0i})^2} \right\}。 \text{根据上述功}$$

率更新算法, 认知用户对主用户的干扰可限制在主用户收信机可容忍的范围内, 即:

$$I_{th} \in \sum_{i=1}^N G_{0i} F_{0i} P_i' = \sum_{i=1}^N G_{0i} F_{0i} \frac{G_{0i} F_{0i} I_{th}}{\sum_{i=1}^N (G_{0i} F_{0i})^2} =$$

 I_{th}

(3) 分布式算法。

步骤1: 初始功率分配: 每个认知用户分配相等的功率, 且满足干扰约束条件 C1 和 C2。

步骤2: 迭代 $t = 1: T_{\max}$

①更新功率: $p_i(t+1) = \min\left\{P_i', \frac{R_{id}}{R_{ir}(t)} P_i(t)\right\}$

②判断: 如果 $|P_i(t+1) - P_i(t)| < \Delta\epsilon$, 则转至步骤3, 否则继续迭代;

步骤3: 结束。

4 仿真分析

假设系统的主用户发射功率为 $0.5W$, $I_{th} = 1W$, 5个认知用户的期望传输速率为 $1.5, 1.2, 1.0, 0.8, 0.6$, 单位为 bit/s/Hz , $K = 16$, $T_{\max} = 1000$ 。

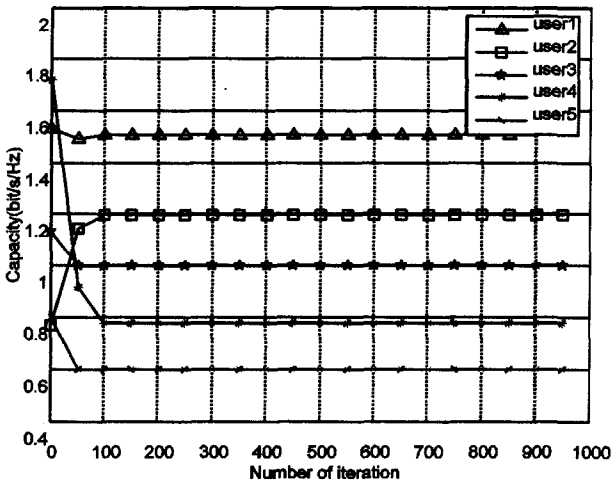


图2 集中式算法1的用户实际速率

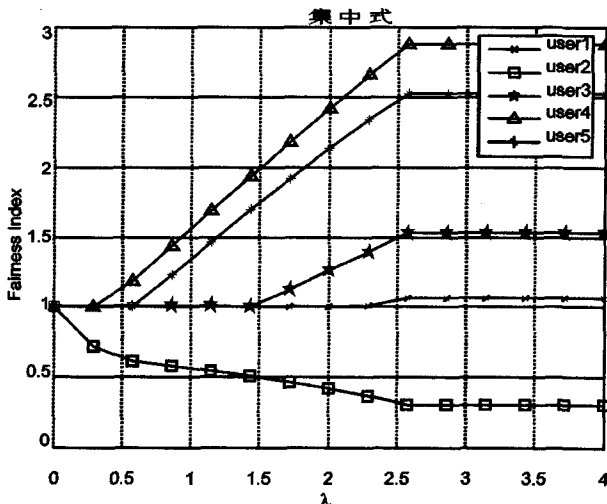


图3 集中式算法1 λ 对用户公平性的影响

图2显示了在集中式算法1下各认知用户的实际

速率随迭代次数的变化。设 $\lambda = 0.001$, 更新步长为 $0.001W$ 。由图可知, 迭代次数达到150次时, 每个认知用户的实际速率都趋近于其期望速率。

定义认知用户 i 的公平性指标为 R_i'/R_d^i 。图3显示了在集中式算法1下, λ 对各认知用户公平性的影响, 其中更新步长为 $0.001W$ 。由图可知, 随着 λ 的增加, 各用户的实际速率逐渐偏离相应的期望速率, 即用户的公平性越差。

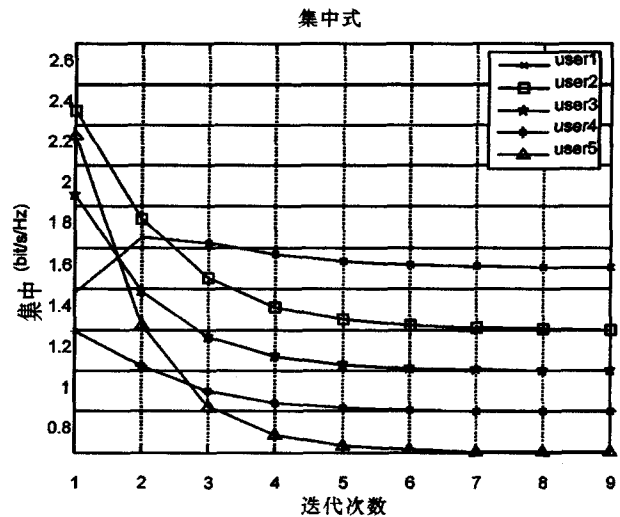


图4 集中式算法2的用户实际速率

图4显示了在集中式算法2下各认知用户的实际速率随迭代次数的变化。由图可知, 迭代次数达到10次时, 每个认知用户的实际速率都趋近于其期望速率。与集中式算法1相比, 算法2的收敛速度更快, 复杂度更低。

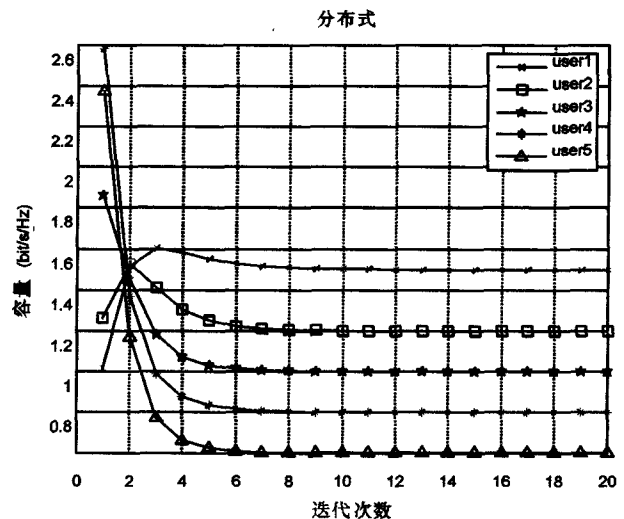


图5 分布式算法的用户实际速率

图5显示了在分布式算法下各认知用户的实际速率随迭代次数的变化。由图可知, 迭代次数达到10次时, 每个认知用户的实际速率都趋近于其期望速率, 但分布式功率分配算法有利于减少实现的复杂度。

定义认知用户 i 的公平性指标为 R_i'/R_d^i 。图6显

示了在分布式算法下, $\Delta\epsilon$ 对各认知用户公平性的影响。由图可知,随着 $\Delta\epsilon$ 的增加,各用户的实际速率逐渐偏离相应的期望速率,即用户的公平性越差。

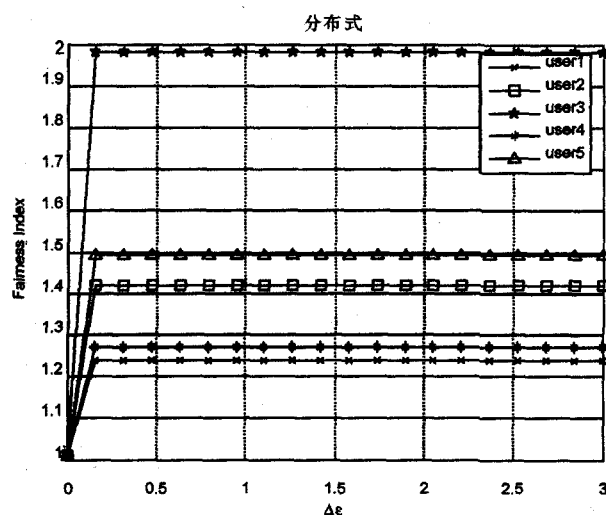


图 6 分布式算法下 $\Delta\epsilon$ 对用户公平性的影响

5 结束语

根据用户的不同速率需求,在认知无线网络中提出了基于多用户公平性的功率分配问题。文中以最小化用户需求速率与可达速率为优化目标,以主用户的干扰限制为约束条件。为求解该问题,提出了两种集中式分配算法及一种分布式算法。仿真结果表明,三种求解算法都可收敛于优化问题的最优解,且集中式算法 2 的收敛速率远大于集中式算法 1,分布式功率分配算法有利于减少实现的复杂度。

参考文献:

- [1] Musavian L, Aissa S. Quality-of-Service Based Power Allocation in Spectrum-Sharing Channels [C]// IEEE GLOBE-COM. [s. l.]: [s. n.], 2008: 1-5.
- [2] Le Long B, Hossain E. Resource allocation for spectrum underlay in cognitive radio networks [J]. IEEE Transaction on Wireless Communications, 2008(7): 5306-5315.
- [3] 谢军辉, 冯平. 认知无线网络中基于凸优化的功率分配研究 [J]. 计算机应用研究, 2010(3): 1161-1166.
- [4] Kang X, Zhang R. Optimal power allocation for cognitive radio under primary user's outage loss constraint [C]// ICC 2009. Dresden: IEEE Press, 2009: 1-5.
- [5] 郭艳艳, 康桂霞, 张宁波, 等. 基于认知无线电系统的协作中继分布式功率分配算法 [J]. 电子与信息学报, 2010, 32(10): 2463-2467.
- [6] Guo Y, Kang G, Zhang N, et al. Outage performance of relay-assisted cognitive-radio system under spectrum-sharing constraints [J]. Electronics Letters, 2010, 46: 182-184.
- [7] Chen Yan, Yu Guanding, Zhang Zhaoyang, et al. On Cognitive Radio Networks with Opportunistic Power Control Strategies in Fading Channels [J]. IEEE Trans. Wirel. Commun, 2008, 7(7): 2752-2761.
- [8] Luo Changqing, Yu F Richard, Ji Hong, et al. Distributed relay selection and power control in cognitive radio networks with cooperative transmission [C]// IEEE communication society subject matter experts for publication in the IEEE ICC 2010 proceedings. [s. l.]: [s. n.], 2010.
- [9] 林琳, 周贤伟, 薛楠, 等. 认知无线网络安全路由问题研究 [J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(1): 159-162.
- [10] Musavian L, Aissa S. Outage-Constraint Capacity of Spectrum-Sharing Channels in Fading Environments [J]. IET Communication, 2008, 2(2): 724-732.
- [11] Qin T, Leung C. Fair adaptive resource allocation for multiuser OFDM cognitive radio systems [C]// Proceedings of IEEE ChinaCom. [s. l.]: [s. n.], 2007: 115-119.
- [12] Attar A, Holland O, Nakhai M R, et al. Interference-limited resource allocation for cognitive radio in orthogonal frequency-division multiplexing networks [J]. IET Commun, 2008(2): 806-814.
- [13] Sarwar B, Karypis G, Konstan J. Item-based collaborative filtering recommendation algorithms [C]// Proceedings of the 10th International World Wide Web Conference. [s. l.]: [s. n.], 2001: 285-295.
- [9] 潘红艳, 陶剑文, 杨华兵. 基于信息项和用户群的信息推荐机制 [J]. 情报学报, 2006, 25(5): 600-605.
- [10] 张娜, 何建民. 基于项目与客户聚类的协同过滤推荐方法 [J]. 合肥工业大学学报 (自然科学版), 2007, 30(9): 1159-1162.
- [11] 查文琴, 梁昌勇, 曹镭. 基于用户聚类的协同过滤推荐方法 [J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(6): 69-71.
- [12] 董祥和, 齐莉丽, 董荣和. 优化的协作过滤推荐算法 [J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(8): 229-232.
- [13] Herlocker J L, Konstan J A, Terveen, et al. Evaluating collaborative filtering recommender systems [J]. ACM Trans. on Information Systems, 2004, 22(1): 50-53.

(上接第 76 页)

- measure and instance selection for collaborative filtering international [J]. Journal of Electronic Commerce, 2004, 4(8): 115-129.
- [5] 姜雅倩, 王直杰, 张珏. 基于供求关系及协同过滤的推荐模型研究 [J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(6): 18-21.
- [6] 游文, 叶水生. 电子商务推荐系统中的协同过滤推荐 [J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(9): 70-72.
- [7] Mobasher B, Jin X, Zhou Y. Semantically enhanced collaborative filtering on the Web [C]// In: Proceedings of the European Web Mining Forum. [s. l.]: [s. n.], 2004.
- [8] Sarwar B, Karypis G, Konstan J. Item-based collaborative filtering recommendation algorithms [C]// Proceedings of the 10th International World Wide Web Conference. [s. l.]: [s. n.], 2001: 285-295.