

6-1-2020

Novel Power Control Algorithm for Cognitive Radio Network

Long Min

Department of Computer and Communication Engineering, Hunan Changsha University of Science and Technology, Changsha 410004, China;

Juanjuan Lei

Department of Computer and Communication Engineering, Hunan Changsha University of Science and Technology, Changsha 410004, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Novel Power Control Algorithm for Cognitive Radio Network

Abstract

Abstract: For the problems of near-far effect, large path loss, and stability of algorithm, etc., in the cognitive radio, a new power control algorithm was proposed. *Utility function was improved effectively, where punishment factors, such as, link quality and the interference capacity limit of the primary users (PUs) were considered. Signal-to-interference ratio (SINR) of cognitive users (CUs) was controlled above the minimum threshold, and the interference value of the CUs was controlled below the capacity tolerance of PUs. The existence of Nash equilibrium was given.* Simulation results show that the new algorithm has better stability; the loss of path can be reduced with smaller transmission power; the near-far effect problem can be solved effectively, and the total interference of CUs is less than the interference capacity tolerance of PUs.

Keywords

cognitive radio, power control, utility function, near-far effect, path loss

Recommended Citation

Long Min, Lei Juanjuan. Novel Power Control Algorithm for Cognitive Radio Network[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(7): 1617-1624.

认知无线电中一种新型的功率控制算法

龙敏, 雷娟娟

(长沙理工大学计算机与通信工程学院, 湖南 长沙 410004)

摘要: 针对在认知无线网络通信过程中的远近效应、路径损耗过大以及算法稳定性等问题, 提出了一种新的认知无线网络功率控制算法。该算法对效用函数进行了改进, 加入链路质量和主用户干扰容限值等惩罚因素, 将所有认知用户的信干噪比控制在最小阈值以上, 同时将认知用户的总干扰值控制在主用户的干扰容限值之内。证明了该算法纳什均衡的存在性和唯一性。MATLAB 仿真结果表明, 该算法稳定性较好, 在使用较小发射功率的情况下, 可以减少路径的损耗, 并有效地解决了远近公平效应, 同时, 使得认知用户的干扰总值小于主用户的干扰容限。

关键词: 认知无线电; 功率控制; 效用函数; 远近效应; 路径损耗

中图分类号: TN915.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2017) 07-1617-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201707029

Novel Power Control Algorithm for Cognitive Radio Network

Long Min, Lei Juanjuan

(Department of Computer and Communication Engineering, Hunan Changsha University of Science and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: For the problems of near-far effect, large path loss, and stability of algorithm, etc., in the cognitive radio, a new power control algorithm was proposed. *Utility function was improved effectively, where punishment factors, such as, link quality and the interference capacity limit of the primary users (PUs) were considered. Signal-to-interference ratio (SINR) of cognitive users (CUs) was controlled above the minimum threshold, and the interference value of the CUs was controlled below the capacity tolerance of PUs. The existence of Nash equilibrium was given.* Simulation results show that the new algorithm has better stability; the loss of path can be reduced with smaller transmission power; the near-far effect problem can be solved effectively, and the total interference of CUs is less than the interference capacity tolerance of PUs.

Keywords: cognitive radio; power control; utility function; near-far effect; path loss

引言

近年来, 随着无线网络应用和需求的不断增长, 有限的频谱资源变得越来越紧张, 然而已使用的频谱其利用率却不高。认知无线电^[1]应运而生,



收稿日期: 2015-08-10 修回日期: 2015-09-20;
基金项目: 湖南省自然科学基金(15JJ2007);
作者简介: 龙敏(1977-), 女, 湖南湘乡, 博士, 教授, 研究方向为信息安全与无线通信; 雷娟娟(1990-), 女, 湖南衡阳, 硕士, 研究方向为认知无线电。

采用动态的频谱分配技术, 实现了住用户和认知用户的频谱共享, 大大提高频谱利用率。但为了保证主用户的正常使用, 必须对认知用户功率进行控制^[2]。近几年, 已有许多认知无线电的功率控制算法^[3-10], 其中, 基于博弈论的功率控制算法是研究的热点之一, 并且取得了较好的效果^[11-12]。

但是, 基于博弈论的功率控制算法仍然存在远近不公平性现象, 当认知用户距离基站远时, 认知用户的发射功率增大, 而信干噪比却很小, 不能满

<http://www.china-simulation.com>

• 1617 •

足通信需求^[13-15]。David 等人^[16]提出了一种非合作博弈功率控制的基本模型,降低了认知用户的信干噪比却忽视了系统的远近效应,导致一些认知用户的 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)太低而不能满足正常通信。文献[17]提出的算法使所有认知用户的 SINR 都收敛于目标 SINR,减少了对主用户和其它认知用户的干扰,可能存在部分认知用户的信干噪比不能满足认知用户的正常通信。文献[18]中 Koskie-Gajic 提出了 K-G 功率控制算法,设计代价函数来惩罚那些为提高信噪比而无限制地去提升发射功率的认知用户,但系统仍存在部分认知用户的 SINR 无法满足阈值要求,使得部分认知用户无法正常通信,同时存在认知用户的远近不公平性,功率消耗高。文献[19]中提出的算法保证了大多数认知用户的正常通信并且对主用户造成较小的干扰,但此算法也没有考虑远近不公平性。

针对上述算法存在的问题,本文提出了一种基于综合代价函数的非合作功率控制博弈算法,该算法综合考虑远近效应、路径损耗的影响,设计一种非线性链路的代价函数,以实现惩罚因子的自适应调整,使得 SINR 较好的 CU(cognitive users)受到的惩罚多一些, SINR 较差的 CU 受到的惩罚少一些。其次,对本文所提出算法的纳什均衡解的存在性及唯一性进行了证明。

1 系统模型

本文研究的系统模型如图 1 所示。该网络系统包括一个主用户、一个主基站(BBS)、一个接入点(AP, (Access Point)), 即认知基站(CBS, (Cognitive Base Station))和 N 个认知用户,网络的认知用户随机的分布在以认知基站为圆心、半径为 1 km 的圆内,设认知用户 i 与认知基站的距离为 d_i ,与主基站的距离为 D_i ,此系统里的每个认知用户之间都相互存在着干扰性。认知用户的 SINR 可以表示为:

$$r_i = \frac{Gh_i p_i}{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N p_j h_j + \delta^2} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

式中: $r_i \geq r_i^{th}, \forall i \in N$, r_i^{th} 为认知用户 i 的 SINR 的最小阈值,即保证认知用户能正常通信的最小 SINR; $h_i = 0.097 / d_i^m$, 表示的是认知用户 i 的链路增益; h_j 表示的是认知用户 j 的链路增益,它们与其离基站的距离呈相关性的反比例关系; m 为路径衰落因子,其值一般为 2-6; p_i, p_j 分别为第 i, j 个认知用户的发射功率,且 $p_i \in (0, p_{max}]$; G 为有效的扩频增益, δ^2 为背景噪声的功率。

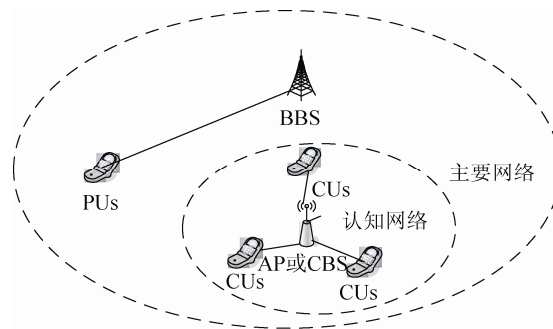


图 1 系统模型示意图

Fig. 1 Schematic diagram of system model

为了保证主用户正常通信,认知用户对主用户产生的干扰必须控制在某个门限值范围之内。用户的功率限制可以表示为

$$I_j = \sum_{j=1}^N g_j p_j \leq I_{max} \quad (2)$$

式中: I_j 为所有刺激用户对主用户造成的总干扰之和; g_j 为主用户 j 的链路增益; I_{max} 为主用户(PU)能接收来自认知用户(SU)的最大干扰功率。因此:

$$p_i \leq p_i^{th} \quad (3)$$

$$p_i^{th} = \frac{I_{max} - \sum_i p_i g_i}{g_i} \quad (4)$$

p_i^{th} 为认知用户 i 的最大发射功率。当某个认知用户 i 的发射功率超过 p_i^{th} 时,它将影响主用户的正常通信,此时,必须降低发射功率以降低对主用户的干扰或者切换到其他可用频谱。在本文中,我们假设 p_i 小于每个认知用户的最大发射功率,大于每个认知用户的最小发射功率。

2 非合作博弈功率控制

2.1 博弈论与效用函数

本文采用的是非合作博弈, 该博弈是指每一个网络节点以自私的方式寻求自己最大发射功率而造成每个网络节点间相互冲突的一种博弈, 并最终使每个认知用户的发射功率达到某种平衡。假设 $J = [\Gamma, \{p_j\}, \{u_j(\cdot)\}]$ 为认知无线电的非合作功率博弈策略; 博弈者为所有的认知用户, $\Gamma = \{1, 2, \dots, N\}$ 是认知用户的集合; $P_j = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ 是认知用户 j 的发射功率集合; $u_j(\cdot)$ 为认知用户 j 的效用函数。

效用函数是由收益函数和代价函数共同组成的, 其中, 收益函数表示参与者使用网络或服务质量的满意程度, 而代价函数表示参与者为提升自身收益的付出。为了防止某些认知用户盲目地增大自身的发射功率, 引入综合代价函数。K-G 算法加入的是线性链路的代价函数, 距离基站较远的认知用户为了盲目地提高自身的 SINR 而不断的增大自身的发射功率, 造成路径损耗过大。在考虑认知用户的 SINR 和发射功率范围的前提下, 为了改善系统的公平性并尽可能降低认知用户的发射功率, 本文加入非线性链路代价函数, 代价函数由链路质量、发射功率以及 SINR 大小等因素来设定, 所付出的代价则随着距离的增加而减小, 以减少对距离基站较远的认知用户的“惩罚”, 从而使整个系统更加公平。本文设计的效用函数式如下:

$$u_i = a_i \ln(r_i - r_i^{th}) + b_i h_i (e^{c_i(p_i^{\max} - h_i p_i)} - 1) \quad (5)$$

$$\forall p_i, i = 1, 2, 3, \dots, N$$

式中: a_i 为影响因子; b_i, c_i 为代价因子, 其值为非负数; $\ln(r_i - r_i^{th})$ 为收益函数, 当 $r_i > r_i^{th}$ 时, 系统将获得收益, 并且, 当 r_i 的值越大时, 系统的收益就越高; $b_i h_i (e^{c_i(p_i^{\max} - h_i p_i)} - 1)$ 为代价函数。当 p_i 越大时, 认知用户受到的“惩罚”就越大, 并且, 当 $p_i < p_i^{\max}$ 时, c_i 保持不变, 当 $p_i > p_i^{\max}$ 时, $c_i = c_i p_i / p_i^{\max}$, 增大对该认知用户的惩罚, 减少对其他用户的干扰。由于接收端的链路质量 h_i 和发射功率呈相关性的反比关系, 所以在代价函数中加

入链路增益 h_i , 同时, 通过认知用户的不同的链路增益来实现不同的代价机制。当认知用户距离越远时, 认知用户受到的“惩罚”将会越小, 这样就可能相对减小各认知用户间的信干比的差值, 从而克服系统的不公平性, 防止离基站较远的用户肆无忌惮地去提高自身的发射功率来保证自己的 SINR。

本文采用的是牛顿迭代法求解发射功率^[20]。由博弈论知识可知, 在一个通信系统中, 纳什均衡点的收益高于任何系统的收益, 这些系统的收益是单方面的改变功率所得的。设纳什均衡发射功率为 p_i^* , 有:

$$u_i(p_i^*, r_i(p_i^*)) \geq u_i(p_i, r_i(p_{-i}^*)) \quad (6)$$

式(6)中: $u_i(p_i^*, r_i(p_i^*))$ 为在纳什均衡条件下的效用函数; $u_i(p_i, r_i(p_{-i}^*))$ 为在非纳什均衡条件下的效用函数; $r_i(p_{-i})$ 为除了认知用户 i 之外的其他认知用户的 SINR。

根据拉克朗日求导算法, 对 $u_i(p_i^*, r_i(p_i^*))$ 求导得:

$$\frac{\partial u_i}{\partial p_i} = \frac{a_i}{r_i - r_i^{th}} \times \frac{\partial r_i}{\partial p_i} + (-b_i c_i h_i^2) e^{c_i(p_i^{\max} - h_i p_i)} = 0 \quad (7)$$

将(1)式带入(5)式中, 得:

$$\frac{a_i}{r_i - r_i^{th}} \frac{G h_i}{I(-i)} - h_i^2 b_i c_i e^{c_i(p_i^{\max} - h_i p_i)} = 0 \quad (8)$$

$$r_i = \frac{a_i}{c_i b_i h_i^2 e^{c_i(p_i^{\max} - h_i p_i)} I(-i)} + r_i^{th} \quad (9)$$

$$\text{其中: } I(-i) = \sum_{j \neq i}^N h_j p_j + \delta^2 \quad (10)$$

将(7)式代入(1)式中得:

$$p_i = \frac{a_i}{c_i b_i h_i^2 e^{c_i(p_i^{\max} - h_i p_i)} + r_i^{th}} \times \frac{p_i}{r_i} \quad (11)$$

运用牛顿迭代法得到迭代 n 次的发射功率为:

$$p_i^{n+1} = \frac{a_i}{b_i c_i h_i^2 e^{c_i(p_i^{\max} - h_i p_i^n)} + r_i^{th}} \times \left(\frac{p_i^n}{r_i^n}\right) \quad (12)$$

综上所述:

$$R(p_i^n) = \begin{cases} p_i^{n+1}, & p_i^{n+1} \leq p_i^{\max} \\ p_i^{\max}, & p_i^{n+1} \geq p_i^{\max} \end{cases} \quad (13)$$

2.2 求解纳什均衡发射功率的流程图

本文通过拉格朗日求导法，求出初始 SINR，进而求得初始发射功率，通过牛顿迭代法将初始发射功率进行迭代，当第 n 次迭代与 $n-1$ 次迭代之差小于迭代误差时，该次迭代的值便是纳什均衡发射功率。具体流程图如图 2 所示。

$$w = |p_i^n - p_i^{n-1}| \leq e \quad (14)$$

式中： w 为 n 与 $n-1$ 次功率迭代的差值； e 为迭代误差。

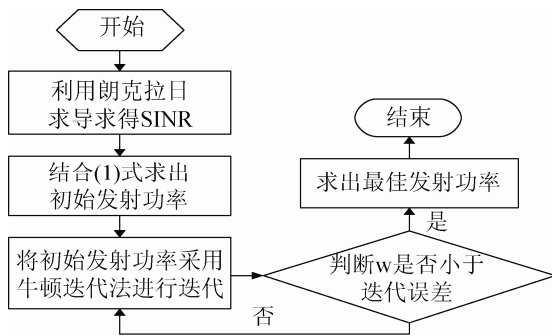


图 2 流程图
Fig. 2 Flow chart

2.3 纳什均衡的存在性和唯一性证明

纳什均衡是一种策略组合，使得每个参与人的策略是对其他参与人策略的最优反应。如果没有节点单独行动而增加收益的话，那么这个策略的组合叫做纳什均衡。但是纳什均衡发射功率可能不存在或者不唯一，因此在求纳什均衡发射功率前要证明其是否存在，以及纳什均衡值是否唯一^[21]。

1 纳什均衡的存在性

要证明纳什均衡的存在性，即证明：

1) 效用函数是一个非空有界凸集，即有限博弈，局中元素是有限个数的。

2) 证明效用函数是连续的拟凹函数。

拟凹函数的定义：就是相对坐标横轴，图像里没有下凸现象的曲线。亦即对定义域内任意 x, y ，有 $f(ax + (1-a)y) \geq \min[f(x), f(y)]$ 。

证明：

1) 因为每个认知用户 i 的策略空间都定义在

区间 $[p_i^{\min}, p_i^{\max}]$ 上，所以，效用函数是一个非空有界凸集，即有限博弈，局中元素是有限个数的，因此命题成立。

2) 有拟凹函数的定义可知，对效用函数进行二阶求导得：

$$\frac{\partial^2 u_i}{\partial p_i^2} = -h_i^2 \left[\frac{a_i G^2}{(r_i - r_i^{th}) (\sum_{j \neq i} h_j p_j + \delta^2)^2} - b_i c_i^2 h_i e^{c_i(p_i^{\max} - h_i p_i)} \right] < 0 \quad (15)$$

式中：参数 $a_i, b_i, c_i, r_i^{th}, p_i^{\max}$ 都为正数，合理的设置这些参数，可以使得二阶导数的值小于零。由此可知， $u_i(p_i, p_{(-i)})$ 在 p_i 上是连续的拟凹函数，因此，该算法存在纳什均衡解。

2 纳什均衡的唯一性

证明唯一性的条件如下：

- 1) 非负性，即 $R(p) > 0$ ；
- 2) 单调性，即，如果 $p > p'$ ，则 $R(p) > R(p')$ ；
- 3) 拓展性 $\alpha R(p) - R(\alpha p) > 0, \forall \alpha > 1$ 。

证明：

1) 因为， a_i, b_i, c_i 都为非负数，所以 $R(p_i) = \frac{a_i}{b_i h_i^2 c_i e^{c_i(p_i^{\max} - h_i p_i)}} + r_i^{th} \times \left(\frac{p_i}{r_i}\right) > 0$ ，显而易见。

2) 当 $p > p'$ 时，

$$R(p) - R(p') = \frac{a_i}{b_i c_i h_i^2 e^{c_i(p_i^{\max} - h_i p)}} + r_i^{th} \times \left(\frac{p}{r_i}\right) - \left(\frac{a_i}{b_i c_i h_i^2 e^{c_i(p_i^{\max} - h_i p')}} + r_i^{th} \times \left(\frac{p'}{r_i}\right)\right) > 0 \quad (16)$$

因为， $\frac{a_i}{b_i c_i h_i^2 e^{c_i(p_i^{\max} - h_i p)}} > \frac{a_i}{b_i c_i h_i^2 e^{c_i(p_i^{\max} - h_i p')}}$ ，

$r_i^{th} \times \left(\frac{p}{r_i}\right) > r_i^{th} \times \left(\frac{p'}{r_i}\right)$ ，所以，原命题成立。

3) 当 $\alpha > 1$ 时，

$$\alpha \alpha R(p) - R(\alpha p) = \frac{\alpha a_i}{b_i c_i h_i^2 e^{c_i(p_i^{\max} - h_i p)}} + \alpha r_i^{th} \times \left(\frac{p}{r_i}\right) - \left(\frac{a_i}{b_i h_i^2 c_i e^{c_i(p_i^{\max} - h_i \alpha p)}} + r_i^{th} \times \left(\frac{\alpha p}{r_i}\right)\right) = \frac{a_i (\alpha e^{c_i(p_i^{\max} - h_i \alpha p)} - e^{c_i(p_i^{\max} - h_i p)})}{b_i c_i h_i^2 e^{c_i(2p_i^{\max} - h_i p - h_i \alpha p)}} \quad (17)$$

因为, $a_i(\alpha e^{c_i(p_i^{\max}-h_i\alpha p)} - e^{c_i(p_i^{\max}-h_i p)}) > 0 \forall \alpha > 1$,
 $b_i c_i h_i^2 e^{c_i(2p_i^{\max}-h_i p-h_i\alpha p)} > 0 \forall \alpha > 1$ 。

综上所述, 由以上 3 个性质的证明可知, 该算法存在唯一的纳什均衡解。

3 仿真结果与性能分析

本文采用了 MATLAB 对算法进行了仿真。仿真未考虑阴影衰落, 快衰落及多径时延对信号的影响, 且噪声固定为 $\delta^2 = 2 \times 10^{-13} W$ 。假设认知用户为 $N = 10$, 且随机处于半径为 $d_i = 1 \text{ km}$ 且 $D_i = 10d_i$ 的圆形小区内, 扩频增益 $G = 100$ 。信道增益 $h_i = A / d_i^m$, $g_i = A / D_i^m$, 其中 $A = 0.0097$, $m = 4$, 认知用户的初始发射功率为 $p_{i0} = 2 \times 10^{-22} \text{ mW}$, $r_i^{\text{th}} = 6 \text{ db}$, 最大允许功率为 $p_i^{\max} = 50 \text{ mW}$ 。

K-G 算法的发射功率迭代式如下:

$$p_i^{(k+1)} = r_i^{\text{tar}} \frac{p_i^k}{r_i^k} - \alpha_i \left(\frac{p_i^k}{r_i^k} \right)^2 \quad (18)$$

文献[19]中算法的发射功率迭代如下:

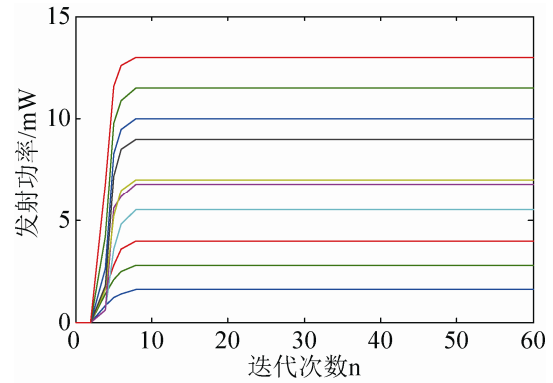
$$p_i^{(k+1)} = \begin{cases} \frac{p_i^k}{r_i^k} r_i^{\text{tar}} + \frac{A_i}{B_i e^{C_i(p_i^k - p_i^{\text{tar}})} (1 + C_i p_i^k)} p_i^k > 0 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (19)$$

式中: α_i , A_i , B_i , C_i 为惩罚因子。

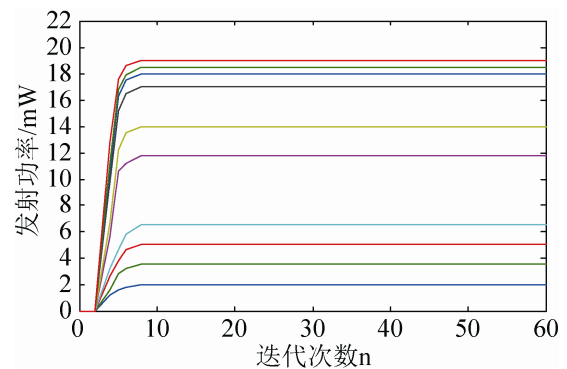
图 3 表示 3 种算法的发射功率与迭代关系。随机抽取第 10 个用户来分析它们的迭代情况。从图 3(a), (b), (c) 中分别可知, K-G 算法大约经过了 8 次迭代收敛于 $p_{10} = 12.6 \text{ mW}$, SPG 算法大约经过了 8 次迭代收敛于 $p_{10} = 19 \text{ mW}$, 而本文提出的新算法大约经过了 8 次迭代收敛于 $p_{10} = 13.2 \text{ mW}$, 从而验证了算法的收敛性。分析可知, 较 K-G 算法与 SPG 算法而言, 虽然本文新算法的收敛性几乎没什么优越性, 但是降低了用户的发射功率, 提高了用户的性能。

从表 1 可知, 在相同实验环境下, K-G 算法的干扰总值为 $79.635 \times 10^{-13} \text{ W} > 7.9562 \times 10^{-13} \text{ W}$, 超过了主用户的干扰容限值, 将影响主用户的正常通信。新的算法和 SPG 算法的干扰总值都少于

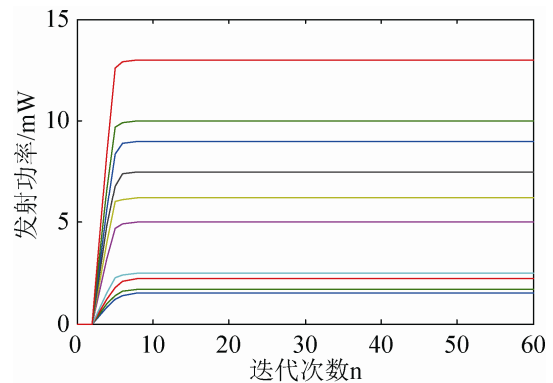
$7.9562 \times 10^{-13} \text{ W}$, 保证了主用户的正常通信。



(a) K-G 算法发射功率与迭代次数关系图



(b) SPG 算法发射功率与迭代次数关系图



(c) 新的算法发射功率与迭代次数关系图

图 3 3 种算法的发射功率与迭代关系图

Fig. 3 The transmit power and iterative relation of three algorithms

表 1 干扰总值的比较

Tab. 1 Comparison of total interference	
算法	干扰总值 / $7.9562 \times 10^{-13} \text{ W}$
K-G 算法	$79.635 \times 10^{-13} \text{ W}$
SPG 算法	$7.3472 \times 10^{-13} \text{ W}$
新的算法	$0.6958 \times 10^{-13} \text{ W}$

图 4 展示的是 3 种算法的发射功率与 CUs 与基站距离远近的关系。从图中可知, 距离基站较近的 CUs 的发射功率较小, 而距离基站较远的 CUs 的发射功率较大, 这符合实际情况。通过离基站距离的越远, 3 种算法的平均发射功率越高, 但本文算法的平均发射功率明显低于 SPG 算法的平均发射功率, 在距离低于 400m 时, 明显优于 K-G 算法。

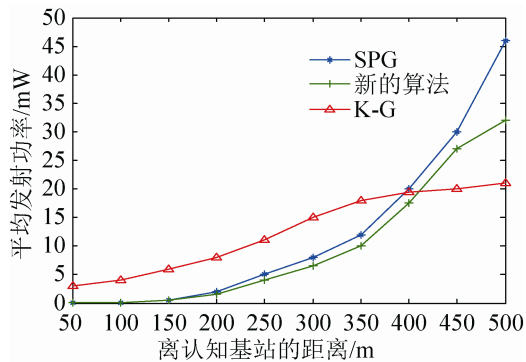


图 4 3 种算法中平均发射功率的比较

Fig. 4 Comparison of average transmit power in three algorithms

图 5 展示的是 3 种算法的平均 SINR 与 CUs 与基站距离远近的关系。与 K-G 算法和 SPG 算法相比, 新算法的平均 SINR 明显高于两者算法的平均 SINR, 同时, 在 K-G 算法中, 距离基站较近的 CUs 的 SINR 较大, 距离基站较远的 CUs 的 SINR 反而比较小, 而在 SPG 算法和新算法中, SINR 则较稳定。与 K-G 算法相比, 新算法发射功率高, 但是其 SINR 也较高。从图可知 K-G 算法中有部分 CUs 的 SINR 并没有达到目标 SINR, 将影响正常通信, 而且 K-G 算法中, 离基站越近的 CUs 的 SINR 越高, 存在远近不公平效应。与 SPG 算法相比, 新算法的发射功率低于 SPG 算法的发射功率, 同时, 新算法的 SINR 高于 SPG 算法的 SINR。新算法的效用函数中增加了链路增益 h_i , 使离基站较远的认知用户惩罚更多一些, 很好的克服了远近不公平效应, 同时引入了代价因子 b_i , c_i , 使得系统在承受较小的发射功率的前提下, 获得了较高的收益。

图 6, 7 分别表示噪声对 3 种算法的平均 SINR 和平均发射功率的影响。

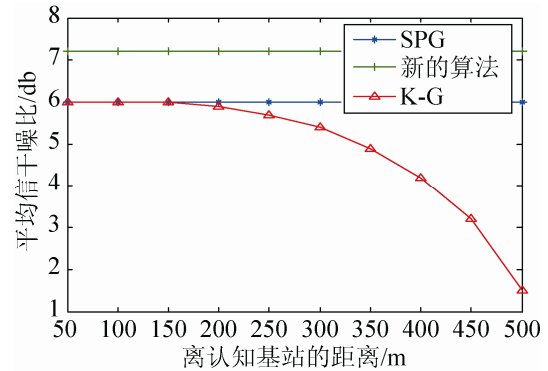


图 5 3 种算法中平均 SINR 的比较

Fig. 5 Comparison of average SINR in three algorithms

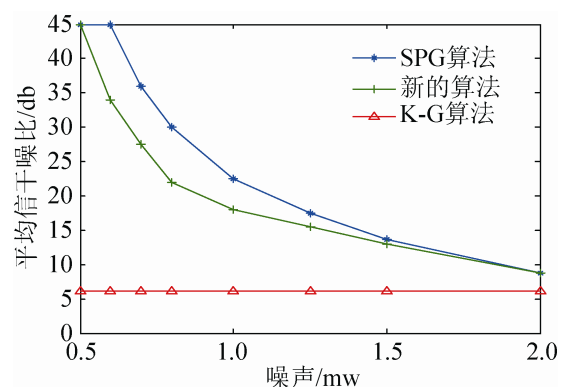


图 6 噪声对 3 种算法平均 SINR 的影响

Fig. 6 The influence of noise on average SINR of three algorithms

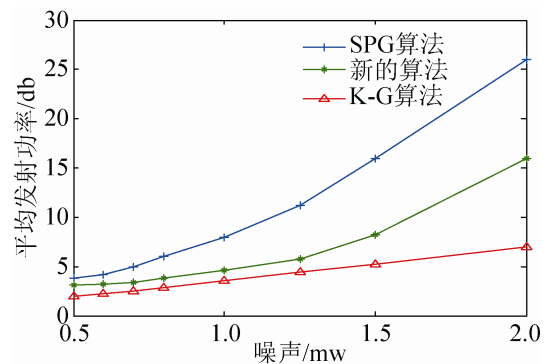


图 7 噪声对 3 种算法平均发射功率的影响

Fig. 7 Influence of noise on average transmit power of three algorithms

如图 6 显示当噪声不断增大时, K-G 算法的平均 SINR 基本不变。这是由于随着噪声的增大, 发射功率也随着增大, 同时 K-G 算法存在远近不公平效应, 离基站较远的地方发射功率较小, 根据公式(1)可知, 噪

声对它的影响不大。从图中我们还可知, K-G 算法中部分平均 SINR 少于 6db, 没有达到 SINR 阈值, 导致部分 CUs 不能正常通信。而新算法和 SPG 算法的平均 SINR 都随着噪声的不断增大而减少, 并且两者的平均 SINR 明显都大于 6db, 在 SINR 阈值之上, 但是新算法减少的趋势明显比 SPG 算法的缓慢一些。

如图 7 所示, 随着噪声的增大, 三种算法的平均发射功率也随之不断的增大。从图中可以看到, SPG 算法的平均发射功率高于新算法, 同时, 新算法的平均发射功率的增幅比 SPG 算法的要缓慢。分析可知, 与 K-G 算法和 SPG 算法相比, 新算法在保证所有 CUs 都能正常通信的前提下, 抗干扰能力更强。

4 结论

本文提出了一种新的功率控制算法, 对效用函数以及代价函数进行了改进, 在 SINR 允许的范围不影响主用户正常通信的情况下尽可能的减少功率消耗。仿真结果表明, 与 K-G 算法比较, 克服了认知无线电中远近效应, 满足了不同用户公平的共享频谱的需求; 与 SPG 算法比较, 在保证认知用户正常通信的情况下, 减少了功率消耗, 并且有着较高的信干噪比, 提升了认知用户的性能。

参考文献:

- [1] Berlemann L, Hiertz G R, Walke B, et al. Strategies for distributed QoS support in radio spectrum sharing [C]// IEEE International Conference on Communications. IEEE. USA: IEEE, 2005: 3271-3277.
- [2] De S C F, Abbas-Turki M, Abou-Kandil H, et al. Transmission Power Control for Opportunistic QoS Provision in Wireless Networks [J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology (S1063-6536), 2013, 21(2): 315-331.
- [3] 张莹, 滕伟, 韩维佳, 等. 认知无线电频谱感知技术综述 [J]. 无线电通信技术, 2015, 41(3): 12-16.(Ying Z, Wei T, Weijia H, et al. Overview of cognitive radio spectrum sensing technology [J]. Radio Communication Technology (S1003-3114), 2015, 41(3): 12-16.)
- [4] Nekouei E, Inaltekin H, Dey S. Power Control and Asymptotic Throughput Analysis for the Distributed Cognitive Uplink [J]. IEEE Transactions on Communications (S0090-6778), 2014, 62(1): 41-58.
- [5] 余翔, 张小银, 刘磊. 基于归一化效用函数的功率控制算法研究 [J]. 电信科学, 2014, 30(12): 71-75. (Xiang Y, Xiaoyin Z, Lei L. Power Control Algorithm Based on Normalized Utility Function Research [J]. Telecommunications Science, 2014, 30(12): 71-75.)
- [6] 程世伦, 杨震, 张晖. 基于认知无线电系统的新型合作功率控制博弈算法 [J]. 通信学报, 2007, 28(8): 54-60. (Shi-lun C, Zhen Y, Hui Z. Novel cooperative power control game algorithm for cognitive radio systems [J]. Journal of Communications, 2007, 28(8): 54-60.)
- [7] 胡图, 景志宏, 张秋林. 基于离散功率空间的定步长认知无线网络功率控制算法 [J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2012, 24(1): 14-19. (Tu H, Zhihong J, Qiulin Z. Fixed step power control algorithm for cognitive wireless networks based on the discrete power space [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2012, 24(1): 14-19.)
- [8] 张龙, 周贤伟, 王建萍, 等. CR 系统中基于微分博弈的功率控制算法 [J]. 电子与信息学报, 2010, 32(1): 141-145. (Long Z, Xianwei Z, Jianping W, et al. Power control algorithm based on differential game for CR system [J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2010, 32(1): 141-145.)
- [9] Zhu Y, Sun J, Shao S, et al. Nash Game-Theoretical Algorithm For Power Control In Cognitive Radio Networks[C]//Communication Technology (ICCT), 2010 12th IEEE International Conference on, 2010: 730-733.
- [10] 罗伯特·吉本斯. 博弈论基础 [M]. 张峰译. 北京: 中国社会科学出版社, 1999.
- [11] Wang B, Wu Y, Liu K J R. Game theory for cognitive radio networks: An overview [J]. Computer Networks the International Journal of Computer & Telecommunications Networking (S1389-1286), 2010, 54(14): 2537-2561.
- [12] Li F, Tan X, Wang L. A New Game Algorithm for Power Control in Cognitive Radio Networks [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology (S0018-9545), 2011, 60(9): 4384-4391.
- [13] Wang S, Huang F, Zhou Z H. Fast Power Allocation Algorithm for Cognitive Radio Networks [J]. IEEE Communications Letters (S1089-7798), 2011, 15(8):

- 845-847.
- [14] De S C F, Abbas-Turki M, Abou-Kandil H, et al. Transmission Power Control for Opportunistic QoS Provision in Wireless Networks [J]. *IEEE Transactions on Control Systems Technology (S1063-6536)*, 2013, 21(2): 315-331.
- [15] Ni Q, Zarakovitis C C. Nash Bargaining Game Theoretic Scheduling for Joint Channel and Power Allocation in Cognitive Radio Systems [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications (S0733-8716)*, 2012, 30(1): 70-81.
- [16] David Goodman, Narayan Mandayam. Power Control for Wireless Data [J]. *IEEE Personal Communications*, 2000, 7(2): 48-54.
- [17] Foschini G J, Miljanic Z. A simple distributed autonomous power control algorithm and its convergence [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology (S0018-9545)*, 1993, 42(4): 641-646.
- [18] Koskie S. A Nash Game Algorithm for SIR-based Power Control in 3G Wireless CDMA Networks [J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking (S1063-6692)*, 2005, 13(5): 1017-1026.
- [19] Jiao J, Jiang L, He C. A Novel Game Theoretic Utility Function for Power Control in Cognitive Radio Networks [C]// *International Conference on Computational and Information Sciences*. DC, USA: IEEE Computer Society, 2013: 1553-1557.
- [20] 张峰. 论博弈逻辑的分析方法—纳什均衡分析法 [J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2008, 10(2): 95-99. (Feng Z. On the analysis method of Nash equilibrium in game logic [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition)*, 2008, 10(2): 95-99.)
- [21] 云磊. 牛顿迭代法的 MATLAB 实现 [J]. *信息通信*, 2011(6): 20-20. (Yun Lei. Newton iterative method of MATLAB [J]. *Information and Communications*, 2011 (6): 20-20.)
- [22] 周宗福, 蒋威. 隐函数存在定理的新证明 [J]. *大学数学*, 2007, 23(5): 137-138. (Zongfu Z, Wei J. New proof of the existence theorem of implicit function [J]. *College Mathematics*, 2007, 23(5): 137-138.)

(上接第 1616 页)

- [5] Yan R, Cao Z, Pei Z. Manufacturer's cooperative advertising, demand uncertainty, and information sharing [J]. *Journal of Business Research (S0148-2963)*, 2016, 69(2): 709-717.
- [6] Montoya-Torres J R, Ortiz-Vargas D A. Collaboration and information sharing in dyadic supply chains: A literature review over the period 2000–2012 [J]. *Estudios Gerenciales (S0123-5923)*, 2014, 30(133): 343-354.
- [7] Cachon G P. Supply chain coordination with contracts [J]. *Handbooks in Operations Research and Management Science (S0927-0507)*, 2003, 11: 227-339.
- [8] Ding H, Guo B, Liu Z. Information sharing and profit allotment based on supply chain cooperation [J]. *International Journal of Production Economics (S0925-5273)*, 2011, 133(1): 70-79.
- [9] Kong G, Rajagopalan S, Zhang H. Revenue sharing and information leakage in a supply chain [J]. *Management Science (S0025-1909)*, 2013, 59(3): 556-572.
- [10] Chengalur-Smith I, Duchessi P, Gil-Garcia J R. Information sharing and business systems leveraging in supply chains: An empirical investigation of one web-based application [J]. *Information & Management (S0378-7206)*, 2012, 49(1): 58-67.
- [11] Ma Y, Wang N, Che A, et al. The bullwhip effect under different information-sharing settings: a perspective on price-sensitive demand that incorporates price dynamics [J]. *International Journal of Production Research (S0020-7543)*, 2013, 51(10): 3085-3116.
- [12] Huang Y, Li M, Ho J. Determination of the optimal degree of information sharing in a two-echelon supply chain [J]. *International Journal of Production Research (S0020-7543)*, 2016, 54(5): 1518-1534.
- [13] Lee H L, Whang S. Information sharing in a supply chain [J]. *International Journal of Manufacturing Technology and Management (S0267-5730)*, 2000, 1(1): 79-93.
- [14] 杜柳. 具有网络效应的软件产品竞争定价仿真 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2011. (Du Liu. Pricing simulation for software products with network effects. [D] Wuhan, China: Huazhong University of Science & Technology, 2011.)