

认知协作无线网络下基于能效的资源联合分配

杨 路, 黄 凯, 杨品章

(重庆邮电大学 通信与信息工程学院, 重庆 400065)

摘 要: 在认知协作无线网络中, 当次用户盲目地参与到中继主用户中, 会选择不利于次用户系统能效的主用户, 从而降低次用户系统整体的能效。针对该问题, 提出一种资源联合分配方案。次用户有权拒绝不利于自身系统的协助申请, 而是选择有利于其系统能效的主用户进行协助。在确定主用户集合的情况下, 通过有效地分配带宽和功率来提高次用户系统的能效。仿真结果表明, 该方案能够在保证各用户服务质量的情况下, 实现次用户系统能效的提高。

关键词: 认知协作无线网络; 能效; 带宽分配; 功率分配; 资源分配

中文引用格式: 杨 路, 黄 凯, 杨品章. 认知协作无线网络下基于能效的资源联合分配[J]. 计算机工程, 2018, 44(1): 134-138, 143.

英文引用格式: YANG Lu, HUANG Kai, YANG Pinzhang. Resource Joint Allocation Based on Energy Efficiency in Cognitive Collaboration Radio Network[J]. Computer Engineering, 2018, 44(1): 134-138, 143.

Resource Joint Allocation Based on Energy Efficiency in Cognitive Collaboration Radio Network

YANG Lu, HUANG Kai, YANG Pinzhang

(School of Communication and Information Engineering,

Chongqing University of Posts and Telecommunication, Chongqing 400065, China)

[Abstract] In the Cognitive Cooperative Radio Network (CCRN), when the secondary users blindly to participate in relay primary users, they will choose the primary users that is not conducive to energy efficiency of the system, thus reduces the overall energy efficiency of secondary user system. To solve the problem, this paper proposes a resource joint allocation scheme. The secondary users have the right to reject the assistance applications that are not conducive to the performance of system, and select primary users who are beneficial to their energy efficiency to assist. In the case of determining the primary user set, through the effective allocation of bandwidth and power, the energy efficiency of the secondary user system is increased. Simulation results show that the scheme can improve the efficiency of secondary system in the condition of ensuring the quality of service for all users.

[Key words] Cognitive Cooperative Radio Network (CCRN); energy efficiency; bandwidth allocation; power allocation; resource allocation

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2018.01.022

0 概述

在认知协作无线网络 (Cognitive Cooperative Radio Network, CCRN) 中, 将拥有频谱资源的授权系统称为主系统, 共享主用户频谱资源的系统称为次级系统。认知用户不但要协助主用户传输信息, 还要传输自己的数据。这样不仅可以提高主用户的传输质量, 还可以让次用户获得传输的机会, 以此来最大化利用资源。因此, 通过在认知无线网络中

使用协作通信技术, 可以达到双赢的效果^[1-2]。

高数据速率业务的快速增长导致无线系统消耗大量的能量, 节能成为当前非常紧迫的任务。在认知协作网络中, 处于低优先级的认知系统在使用资源时, 会受到很多限制, 认知系统需要动态调整各项参数, 而这将会对认知系统的性能产生影响, 因此, 如何合理地优化资源, 使其在有限的资源条件下发挥最大效能, 是认知协作网的重要研究问题。

过往人们考虑资源分配问题的主要目的是提高

基金项目: 国家科技重大专项“新一代宽带无线移动通信网”(2015ZX03004004)。

作者简介: 杨 路 (1969—), 女, 高级工程师, 主研方向为通信路由协议及交换技术; 黄 凯 (通信作者), 杨品章, 硕士研究生。

收稿日期: 2016-12-09 **修回日期:** 2017-01-11 **E-mail:** 449859586@qq.com

无线网络的系统性能^[3-5],能效问题并没有引起人们足够的重视。文献[6]指出无线网络节点中的认知功能有效权衡能效和系统性能之间复杂的关系。文献[7]研究了协作频谱共享通信在保证主用户瞬时速率不变和次级用户服务质量的情况下最小化系统功率的问题。文献[8]分析了能效和频谱效率的折中问题,证明能效是关于频谱效率的凸函数。文献[9]求出了在最大化次系统能效下,允许接入频谱的次用户数目范围。文献[10-11]提出了低复杂度的基于能量效率的资源分配。文献[12]在满足整个系统的基本性能情况下,通过最小化能量消耗,对其资源进行优化。

本文基于次用户和定义的交易能效,提出次用户可以选择有利于自己系统能效的主用户的低复杂度机制,并对其频谱和功率进行联合优化,从而提高次系统的能效。

1 系统模型和问题描述

1.1 系统模型

系统结构如图1所示,包含主用户网络(Primary Network, PN)和次用户网络(Secondary Network, SN)。在该网络结构中,所有节点都只有一根天线,PN拥有授权频谱,SN没有授权频谱,SN协助转发PN中边缘用户的数据业务流量,这样既可以减少PN的能量消耗,作为回报,也可以获得PN中一定的授权频谱来传输自己的数据。PN中需要协助的主用户(Primary User, PU)的数目为 K ,每个PU的授权带宽为 W_{PN}^k ,SN中次用户(Secondary User, SU)数目为 N 。

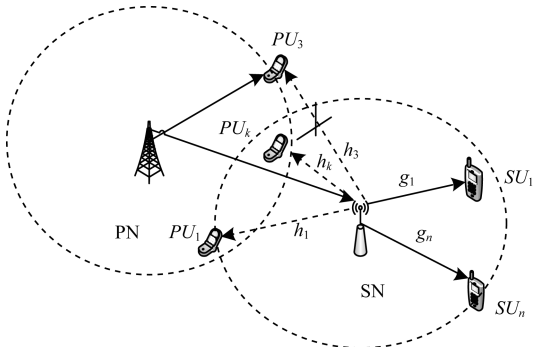


图1 系统模型

PN中边缘用户 PU_k ($\forall k \in K$)接受协助后所达到的传输速率为:

$$r_k = w_k \lg \left(1 + \frac{q_k h_k}{w_k N_0} \right) \quad (1)$$

其中, h_k 为次用户中心(Secondary Network Center, SNC)和 PU_k 在 W_{PN}^k 上的功率增益, q_k 为对应的发射功率, w_k 为所占用的带宽。

SN中的 SU_n 的传输速率为:

$$r_{k,n} = b_{k,n} \lg \left(1 + \frac{p_{k,n} g_{k,n}}{b_{k,n} N_0} \right) \quad (2)$$

其中, $b_{k,n}$ 为 SU_n 从 PU_k 的 W_{PN}^k 上由协助所获得的带宽, $p_{k,n}$ 为 SU_n 的发射功率, $g_{k,n}$ 为次用户中心(Secondary Network Center, SNC)和 SU_n 在 W_{PN}^k 上的功率增益。

因此, SU_n 所达到的总速率为:

$$R_n = \sum_{k=1}^K x_k b_{k,n} \lg \left(1 + \frac{p_{k,n} g_{k,n}}{b_{k,n} N_0} \right) \quad (3)$$

其中, $x_k \in \{0, 1\}$ 表示SNC是否协助 PU_k ,如果协助, $x_k = 1$,否则 $x_k = 0$ 。

整个SN所有SUS所达到的速率为:

$$R_{\text{total}} = \sum_{n=1}^N R_n = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K x_k r_{k,n} \quad (4)$$

SN中所消耗的功率包括协助转发PU的功率和传输自己数据所消耗的功率,为:

$$P_{\text{total}} = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K x_k p_{k,n} + \sum_{k=1}^K x_k q_k \quad (5)$$

1.2 问题描述

综合考虑吞吐量与发射功率的关系,设计出一种SN系统能效最大化的分配方案。该方案SNC从PN中选择出能提高SN的系统能效的 PU_k 进行协助,将其换取的带宽合理地分配给SUS,从而最终提高SN的能效。在认知协作网的通信系统中,能效定义为单位发射功率的吞吐量,因此定义SN的能效为:

$$\eta = \frac{R_{\text{total}}}{P_{\text{total}}} \quad (6)$$

SN系统能效最大化问题可以描述为如下约束条件的最大化问题,其中 S 为 $\{\{x_k\}, \{b_{k,n}\}, \{w_k\}, \{p_{k,n}\}, \{q_k\}\}$ 最佳资源分配。

$$\max_S \eta = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N x_k r_{k,n}}{\sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K x_k p_{k,n} + \sum_{k=1}^K x_k q_k}$$

s. t.

$$C1: \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K x_k p_{k,n} + \sum_{k=1}^K x_k q_k \leq P_{\text{max}}^{\text{SN}}$$

$$C2: \sum_{n=1}^N b_{k,n} + w_k \leq x_k W_{PN}^k, \forall k \in K$$

$$C3: w_k \lg \left(1 + \frac{q_k h_k}{w_k N_0} \right) \geq x_k R_{PN}^k, \forall k \in K$$

$$C4: \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N x_k r_{k,n} \geq R_{\text{min}}^{\text{SN}}$$

$$C5: x_k \in \{0, 1\}, \forall k \in K$$

$$C6: b_{k,n} \geq 0, w_k \geq 0, \forall k \in K, n \in N$$

$$C7: p_{k,n} \geq 0, q_k \geq 0, \forall k \in K, n \in N \quad (7)$$

C1限制了SN系统总传输功率不能超过 $P_{\text{max}}^{\text{SN}}$, C2确保分配给SUS和 PU_k 的带宽不能超过 W_{PN}^k , C3和C4分别保证了 PU_k 和SN的最基本吞吐量要求, C6和C7保证带宽和功率的非负性。

定理1 问题7等价于下述问题,其中 S^* 为 $\{\{x_k^*\}, \{b_{k,n}^*\}, \{w_k^*\}, \{p_{k,n}^*\}, \{q_k^*\}\}$ 。

$$\begin{aligned}
\max_{S^*} \eta &= \frac{\sum_{k=1}^K x_k r_{k,k^*}}{\sum_{k=1}^K x_k p_{k,k^*} + \sum_{k=1}^K x_k q_k} \\
\text{s. t.} \\
\text{C1: } \sum_{k=1}^K p_{k,k^*} + \sum_{k=1}^K q_k &\leq P_{\max}^{\text{SN}} \\
\text{C2: } \sum_{n=1}^N b_{k,k^*} + w_k &= x_k W_{\text{PN}}^k, \forall k \in K \\
\text{C3: } w_k \ln \left(1 + \frac{q_k h_k}{w_k N_0} \right) &= x_k R_{\text{PN}}^k, \forall k \in K \\
\text{C4: } \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N x_k r_{k,k^*} &\geq R_{\min}^{\text{SN}} \\
\text{C5、C6、C7 同式 (7).}
\end{aligned} \quad (8)$$

其中, $k^* = \arg \max_{n \in N} g_{k,n}$

由定理 1 可知, 如果 SNC 决定协助 PU_k , 能效最高的方案是 PU_k 的带宽最多由一个 SU_n 共享。

证明: 用反证法证明。假设 $S = \{\{x_k^{\#}\}, \{b_{k,n}^{\#}\}, \{w_k^{\#}\}, \{p_{k,n}^{\#}\}, \{q_k^{\#}\}\}$ 是式(7)的最佳资源分配且存在 PU_m 的带宽被 2 个 SUS 共享, 即 SU_{m^*} 和 SU_l , $l \neq m^*$, SU_{m^*} 拥有最大的信道状况, 即 $g_{m,m^*} > g_{m,n}$, $\forall n \neq m^*$ 。然后构造一个不同的 $\hat{S} = \{\{\hat{x}_k\}, \{\hat{b}_{k,n}\}, \{\hat{w}_k\}, \{\hat{p}_{k,n}\}, \{\hat{q}_k\}\}$ 。其中, $\{\hat{x}_k\} = \{x_k^{\#}\}$, $\{\hat{q}_k\} = \{q_k^{\#}\}$, $\{\hat{w}_k\} = \{w_k^{\#}\}$ 。

$$\hat{b}_{k,n} = \begin{cases} b_{m,m^*}^{\#} + b_{m,l}^{\#}, & k = m, n = m^* \\ 0, & k = m, n \neq m^* \\ b_{k,n}^{\#}, & k \neq m, n \in N \end{cases} \quad (9)$$

$$\hat{p}_{k,n} = \begin{cases} p_{m,m^*}^{\#} + p_{m,l}^{\#}, & k = m, n = m^* \\ 0, & k = m, n \neq m^* \\ p_{k,n}^{\#}, & k \neq m, n \in N \end{cases} \quad (10)$$

通过式(9)、式(10)可以推出 SN 协助 PU_m 所获得回报, 即产生的速率:

$$\begin{aligned}
&\hat{b}_{m,m^*} \ln \left(1 + \frac{\hat{p}_{m,m^*} g_{m,m^*}}{\hat{b}_{m,m^*} N_0} \right) = \\
&(b_{m,m^*}^{\#} + b_{m,l}^{\#}) \ln \left(1 + \frac{(p_{m,m^*}^{\#} + p_{m,l}^{\#}) g_{m,m^*}}{(b_{m,m^*}^{\#} + b_{m,l}^{\#}) N_0} \right) \geq \\
&a b_{m,m^*}^{\#} \ln \left(1 + \frac{p_{m,m^*}^{\#} g_{m,m^*}}{b_{m,m^*}^{\#} N_0} \right) + \\
&b_{m,l}^{\#} \ln \left(1 + \frac{p_{m,l}^{\#} g_{m,m^*}}{b_{m,l}^{\#} N_0} \right) > \\
&b_{m,m^*}^{\#} \ln \left(1 + \frac{p_{m,m^*}^{\#} g_{m,m^*}}{b_{m,m^*}^{\#} N_0} \right) + b_{m,l}^{\#} \ln \left(1 + \frac{p_{m,l}^{\#} g_{m,l}}{b_{m,l}^{\#} N_0} \right)
\end{aligned} \quad (11)$$

不等式 a 成立的条件是 $f \ln \left(1 + \frac{y}{f} \right)$ 的凸性质^[13] 所得:

当函数为凸函数时, 对任意 $B_i(x_i, y_i) \in D, B_j(x_j, y_j) \in D$,

恒有 $f \left(\frac{x_i + x_j}{2}, \frac{y_i + y_j}{2} \right) \geq \frac{f(x_i, y_i) + f(x_j, y_j)}{2}$ 成立。

由式(11)可以看出所构造的 $\hat{S}$ 在以相同功率消耗时可以获得更高的速率, 即 $\hat{S}$ 可以获得更高的能效, 这与假设 S 为最高能效相矛盾, 所以假设不成立, 即得证。

2 确定 PU 下的能效优化

假设 ϕ 为由 SN 协助的 PUS 集合, 即 $\phi = \{k/x_k = 1, k \in K\}$ 。因此, 对于给定的 ϕ , 式(8)将变为带宽和功率的联合分配, 然而式(8)的目标函数为分数形式, 将其重新写成:

$$q = \max_{S \in \pi} \frac{R_{\text{total}}(S)}{P_{\text{total}}(S)} \quad (12)$$

其中, S 为对应的解; π 为 C1 ~ C4 的可行域。

$$F(q) = \max_{S \in \pi} \{R_{\text{total}}(S) - q P_{\text{total}}(S)\} = 0 \quad (13)$$

其中, q 为一个实参, 对式(13)有下列 3 个性质:

性质 1 $F(q)$ 是关于 q 的单调递减。

性质 2 $F(q) = 0$ 有唯一解。

性质 3 当且仅当:

$$F(q^*) = \max_{S \in \pi} \{R_{\text{total}}(S^*) - q^* P_{\text{total}}(S^*)\} = 0$$

$$q^* = \frac{R_{\text{total}}(S^*)}{P_{\text{total}}(S^*)} = \max_{S \in \pi} \frac{R_{\text{total}}(S)}{P_{\text{total}}(S)}$$

基于上述性质 u , 可以用搜索法求出 q^* 。最优问题如下:

$$\max_{S \in \pi} R_{\text{total}}(S) - q P_{\text{total}}(S) \quad (14)$$

对于此问题的求解可以用拉格朗日对偶算法。拉格朗日的对偶函数可以写为:

$$\begin{aligned}
g(\lambda, \mu) &= \max_{S \in \pi} L(p_{k,k^*}, w_k, \lambda, \mu) \\
L(p_{k,k^*}, w_k, \lambda, \mu) &= \\
&\sum_{k \in \phi} (W_{\text{PN}}^k - w_k) \ln \left(1 + \frac{p_{k,k^*} g_{k,k^*}}{(W_{\text{PN}}^k - w_k) N_0} \right) - \\
&q \left(\sum_{k \in \phi} p_{k,k^*} + \sum_{k \in \phi} \left(2^{\frac{R_{\text{PN}}^k}{w_k}} - 1 \right) \frac{w_k N_0}{h_k} \right) + \\
&\lambda (P_{\max}^{\text{SN}} - \sum_{k \in \phi} p_{k,k^*} - \sum_{k \in \phi} \left(2^{\frac{R_{\text{PN}}^k}{w_k}} - 1 \right) \frac{w_k N_0}{h_k}) + \\
&u \left(\sum_{k \in \phi} (W_{\text{PN}}^k - w_k) \ln \left(1 + \frac{p_{k,k^*} g_{k,k^*}}{(W_{\text{PN}}^k - w_k) N_0} \right) - R_{\min}^{\text{SN}} \right)
\end{aligned} \quad (15)$$

其中, λ, u 为约束因子, 则对偶最优化问题可以表述为:

$$\begin{aligned}
&\min g(\lambda, u) \\
&\text{s. t. } \lambda, u > 0
\end{aligned} \quad (16)$$

式(16)可以采用次梯度求解, 其中对偶变量的迭代更新过程如下:

$$\lambda(d+1) = [\lambda(d) + o(d)(P_{\max}^{\text{SN}} - \sum_{k \in \phi} p_{k,k^*} - \sum_{k \in \phi} q_k)] \quad (17)$$

$$\mu(d+1) = [\mu(d) + \kappa(d)(\sum_{k \in \phi} r_{k,k^*} - R_{\min}^{\text{SN}})] \quad (18)$$

其中, $o(d), \kappa(d)$ 是迭代步长, d 是迭代步数。

定理 2 给定 λ, μ 下, 最佳资源分配如下:

$$w_k = \min \left(\frac{R_{\text{PN}}^k}{W \frac{1}{e} \left(\frac{ch_k}{(q+\lambda)N_0} \right) + 1}, W_{\text{PN}}^k \right), \forall k \in \phi \quad (19)$$

$$p_{k,k^*} = (W_{\text{PN}}^k - w_k) \left(\frac{(1+u)}{(q+\lambda) \ln 2} - \frac{N_0}{g_{k,k^*}} \right), \forall k \in \phi \quad (20)$$

其中, $[x]^+ = \max\{x, 0\}$, $W(x)$ 是朗伯 W 函数,

$$c = (1+u) \ln \left(1 + p_{k,k^*} \frac{g_{k,k^*}}{N_0} \right).$$

算法 1

1. 初始化精度 δ 和 $q = 1$;
2. 循环:
3. 初始化 λ 和 μ ;
4. 循环:
5. 由式(19)和式(20)计算出 w_k, p_{k,k^*} 。
6. 根据式(17)和式(18)更新 λ 和 μ 。
7. 直到 λ 和 μ 收敛。
8. 根据式(12)更新 q 。
9. 直到 $|R_{\text{total}}(S) - qP_{\text{total}}(S)| \leq \delta$ 。

3 基于交易能效下 PU 的选择

3.1 交易能效的定义

本文提出了基于交易能效 PU 选择的方案, 即集合 ϕ 的确定。首先, 引入交易能效的概念, 这个概念将在算法中起着关键作用, 然后基于此, 提出低复杂度的 PU 选择方案。

定义 1 交易能效:

$$\eta_k = \frac{b_{k,k^*} \ln \left(1 + \frac{p_{k,k^*} g_{k,k^*}}{b_{k,k^*} N_0} \right)}{p_{k,k^*} + q_k} \quad (21)$$

其中, 分子为 SN 共享 PU_k 的带宽所获得的数据, 分母为 SU_{k^*} 为了保证自身数据传输要求和协助 PU_k 所消耗的功率。最大化交易能效的问题如下:

$$\max_{p_{k,k^*} \geq 0, w_k \geq 0} \eta_k = \frac{(W_{\text{PN}}^k - w_k) \ln \left(1 + \frac{p_{k,k^*} g_{k,k^*}}{(W_{\text{PN}}^k - w_k) N_0} \right)}{p_{k,k^*} + (2^{\frac{R_{\text{PN}}^k}{W_{\text{PN}}^k} - 1}) \frac{w_k N_0}{h_k}} \quad (22)$$

式(22)利用 KKT 条件分别求关于 p_{k,k^*} 和 w_k 的偏导, 然后用二分法直到达到收敛, 便可求出解。

3.2 集合 ϕ 的确定

定理 3 只有 $\eta_m > \eta_\phi$ 时, SN 选择协助 PU_m 才能提高 SN 的能效, 其中 $m \in K, m \notin \phi$ 。

证明:

$$\hat{S} = \{ \{ \hat{p}_{k,k^*} \}, \{ \hat{q}_k \}, \{ \hat{b}_{k,k^*} \}, \{ \hat{w}_k \} \} \text{ 和 } \tilde{S} = \{ \{ \tilde{p}_{k,k^*} \}, \{ \tilde{q}_k \}, \{ \tilde{b}_{k,k^*} \}, \{ \tilde{w}_k \} \} \text{ 分别为式(7)}$$

在 $x_k = 1, k \in \phi$ 和 $x_k = 1, k \in \phi \cup m, m \notin \phi$ 的最佳解, 所对应的次系统能效分别为 η_ϕ 和 $\eta_{\phi \cup m}$ 。

$S^* = \{ \{ \tilde{p}_{m,k^*}^* \}, \{ \tilde{q}_m^* \}, \{ \tilde{b}_{m,k^*}^* \}, \{ \tilde{w}_m^* \} \}$ 为式(22)所对应的最佳解, 对应的能效为 η_m 。

$$\begin{aligned} \eta_{\phi \cup m} &= \frac{\sum_{k \neq m} r_{k,k^*} (\tilde{b}_{k,k^*}^*, \tilde{p}_{k,k^*}^*) + r_{m,k^*} (\tilde{b}_{m,k^*}^*, \tilde{p}_{m,k^*}^*)}{\sum_{k \neq m} \tilde{p}_{k,k^*}^* + \tilde{p}_{m,k^*}^* + \sum_{k \neq m} \tilde{q}_k^* + \tilde{q}_m^*} \stackrel{a}{\geq} \\ &= \frac{\sum_{k \neq m} r_{k,k^*} (\hat{b}_{k,k^*}^*, \hat{p}_{k,k^*}^*) + r_{m,k^*} (\hat{b}_{m,k^*}^*, \hat{p}_{m,k^*}^*)}{\sum_{k \neq m} \hat{p}_{k,k^*}^* + \hat{p}_{m,k^*}^* + \sum_{k \neq m} \hat{q}_k^* + \hat{q}_m^*} \stackrel{b}{\geq} \\ &= \min \left\{ \frac{\sum_{k \neq m} r_{k,k^*} (\hat{b}_{k,k^*}^*, \hat{p}_{k,k^*}^*)}{\sum_{k \neq m} \hat{p}_{k,k^*}^* + \sum_{k \neq m} \hat{q}_k^*}, \frac{r_{m,k^*} (\hat{b}_{m,k^*}^*, \hat{p}_{m,k^*}^*)}{\hat{p}_{m,k^*}^* + \hat{q}_m^*} \right\} = \\ &= \min \{ \eta_\phi, \eta_m \} \end{aligned} \quad (23)$$

不等式 a 成立的原因是最佳解 $\tilde{S}$ 所对应的能效大于其他任意解下所对应的能效, 不等式 b 成立的原因是:

$$\frac{a+c}{b+d} \geq \min \left\{ \frac{a}{b}, \frac{c}{d} \right\}.$$

由式(23)可以看出, 为了提高能效, 即 $\eta_{\phi \cup m} > \eta_\phi$, 必须 $\eta_m > \eta_\phi$, 得证。

算法 2

1. 通过解决式(22)求出 $\eta_k, \forall k$ 。
2. 将其交易能效 η_k 按降序的顺序排列, 即: $\eta_1 > \eta_2 > \dots > \eta_K$ 。
3. 初始化 $\phi = \emptyset$, 并用算法 1 求出 η_ϕ 。
4. for $k = 1 : K$
 - 用算法 1 求出 $\eta_{\phi \cup k}$
 - if $\eta_{\phi \cup k} > \eta_\phi$
 - $\phi = \phi \cup \{k\}$
 - end
- end

4 仿真结果与分析

本文利用 Matlab 对其进行仿真来验证合理性。考虑这样一个几何模型, 主系统基站和次系统 BS 的距离为 500 m, 主系统和次系统覆盖半径分别为 500 m 和 50 m。仿真参数设置如表 1 所示。

表 1 仿真参数设置

参数	取值
SN 中最大发射功率/dBm	30
每个 PU 的授权带宽/kHz	360
高斯噪声功率谱密度/(dBm · Hz ⁻¹)	-170
R_{SN}/Kb	1 000
$R_{\text{PN}}^k/\text{Kb}$	700
路径衰减模型/lgd	128.1 + 36.7
阴影衰落标准差/dB	8
衰落类型	瑞利衰落

将本文的仿真与参考文献[14-15]的方案作对比。

图2仿真了次系统能效和 $P_{\max}^{\text{SN}}$ 的关系图,由图可知,随着 $P_{\max}^{\text{SN}}$ 的增大,本文方案和文献[14]方案的能效先增大,后趋于稳定,这是由于在SN的次用户发射功率较小时,SN中的次用户没有足够的功率协助主用户,不能实现次系统的能效最大化。当两者的能效趋于稳定后,本文方案具有更高的能效,这是因为本文中次系统选择协助的是能提高次系统的主用户进行协助,而文献[14]并没有考虑到上述因素,势必会造成次系统的能效不是最优,作为对比,文献[15]中的能效随着 $P_{\max}^{\text{SN}}$ 的增大先增大后又减小,这是由于次用户盲目地增大次用户发射功率。

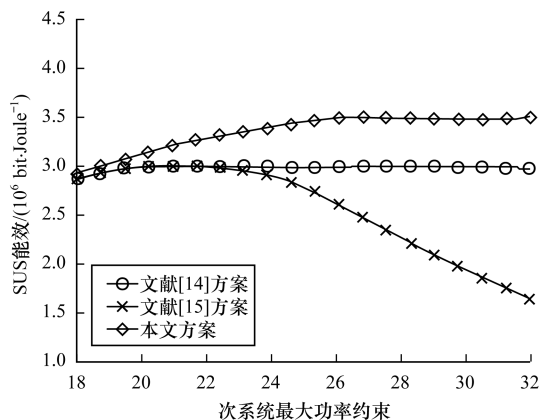


图2 能效随次系统最大功率约束 $P_{\max}^{\text{SN}}$ 的变化

图3仿真了能效和距离 d 的关系图,从图中可以看出当主用户离主系统BS较远时,次系统可以获得更高的能效。这是因为会有更多主系统的边缘用户寻求次系统的合作,从而提升次系统的性能。然而在其他条件相同时,随着 R_{PN}^k 的增大,次用户系统的能效会下降,这是因为消耗了更多资源来满足主系统所要求的基本性能。

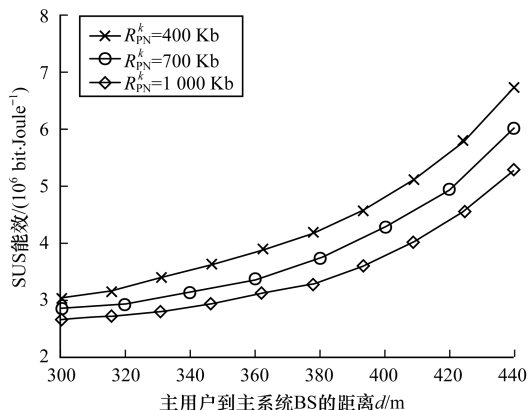


图3 能效随距离的变化

图4仿真了能效和 W_{PN}^k 的关系图,由图可以看出次系统的能效随着 W_{PN}^k 增加而增加,这主要由两方面引起,一方面主系统提供更大的 W_{PN}^k ,SN会相

继消耗更少的功率,有助于次系统能效的提高;另一方面主系统提供更大的 W_{PN}^k ,有助于次系统协助更多主系统,从而提高自己的能效。

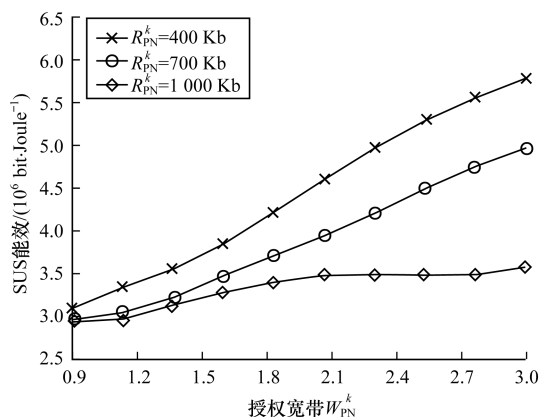


图4 能效随授权带宽 W_{PN}^k 的变化

5 结束语

本文探讨了认知协作网的频谱和功率交易,并对该系统进行建模分析,次用户可以选择有利于自己系统能效的主用户进行选择,并对其频谱和功率进行联合优化,即在满足主用户的基本要求下最大化次系统的能效,从而促使主用户和次用户之间进行合作。仿真结果证明,本文提出的资源分配方案可以在满足主用户基本性能的情况下,更好地提高次用户系统的能效。

参考文献

- [1] DOCKET E T. Spectrum Policy Task Force Report [J]. Federal Communication Commission, 2002, 40 (4): 147-158.
- [2] PHUYAL U, JHA S C, BHARGAVA V K. Green Resource Allocation with QoS Provisioning for Cooperative Cellular Network [J]. Information Theory, 2011, 24 (5): 206-210.
- [3] 王仕果, 易进. 中继协作认知无线电系统的最优化功率分配 [J]. 计算机工程, 2015, 41 (5): 93-96.
- [4] ZHU Qionghua, WU Yuan. Cooperative Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks with Proactive Primary System [C] // Proceedings of IEEE International Conference on Communications in China-workshops. Washington D. C., USA: IEEE Press, 2013: 82-87.
- [5] NAMVAR N, AFGHAH F. Spectrum Sharing in Cooperative Cognitive Radio Networks: A Matching Game Framework [J]. Information Theory, 2015, 62 (5): 1-5.
- [6] GUR G, ALAGOZ S. Green Wireless Communications via Cognitive Dimension: An Overview [J]. IEEE Network, 2011, 25 (2): 50-56.
- [7] HE Jie, XU Chunlin, LI Liwei. Power Saving for Cooperative Spectrum Sharing-based Cognitive Radios Under Primary User Short-term Rate Protection [J]. IET Communications, 2012, 6 (9): 1097-1103.
- [8] 刘丹丹. 高能效频谱共享协作通信机制研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2014.

(下转第143页)

4 结束语

有效获取GPS弱信号,消除各种噪声干扰和抵消信号失真是改善恶劣复杂环境的GPS定位与跟踪性能的重要保障。本文以蚂蚁群集信号检测与跟踪元数据为研究对象,通过获取多时空、高维度的蚂蚁群集网络的随机分布,基于信号的随机轨迹机会地控制蚂蚁个体状态。获取机会蚂蚁群集网络的GPS信号频域表征后,生成GPS弱信号多频段融合体,并提出多频段融合GPS弱信号跟踪采集算法。仿真实验结果表明,该算法与静态蚂蚁群集算法相比执行时间更短,与未提取GPS弱信号的跟踪采集算法相比具有更高的跟踪精度和信号采集灵敏度。

参考文献

- [1] 高斌斌. 煤矿员工考勤与井下人员定位系统的研究[J]. 机械工程与自动化, 2015(6): 163-164.
- [2] 王 汐, 周少武, 曾照福, 等. 微小型群机器人室外组合定位系统与方法[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(15): 261-265.
- [3] 邓承刚, 李国徽, 杨 浩, 等. 基于指引因子蚂蚁算法的仿真资源分配策略[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(9): 1-6.
- [4] GHANI H A, HAMZAH M H, SYAHALI S, et al. Ant-colony Algorithm with Interference Cancellation for Cooperative Transmission[J]. IET Signal Processing, 2016, 10(6): 603-610.
- [5] 毛昱天, 陈 杰, 方 浩, 等. 连通性保持下的多机器人系统分布式群集控制[J]. 控制理论与应用, 2014, 31(10): 1393-1403.
- [6] 杨盼盼, 刘明雍, 雷小康, 等. 群集系统分群行为建模与控制研究进展[J]. 控制与决策, 2016, 31(2): 193-206.
- [7] 褚福芳, 杨洪勇. 具有干扰的多自主体系统的群集运动与速度同步[J]. 复杂系统与复杂性科学, 2015, 12(1): 85-91.
- [8] 胡 雨, 谢 凯, 阮宁君, 等. 基于三维曲波变换的弱信号恢复方法研究[J]. 计算机工程与应用, 2016, 52(18): 199-202.
- [9] 芮国胜, 刘林芳, 张 嵩, 等. 变相位周期策动力杜芬振子弱信号检测方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(11): 1662-1668.
- [10] 卫 洁, 范胜林, 周 超, 等. 多径干扰下GPS弱信号跟踪算法研究[J]. 云南民族大学学报(自然科学版), 2014, 23(5): 373-378.
- [11] 董世明, 陈一民, 黄 晨, 等. 基于压缩感知的长时间实时跟踪技术研究[J]. 计算机应用与软件, 2015, 32(5): 207-211.
- [12] ZHU C, FAN X. A Novel Method To Extend Coherent Integration for Weak GPS Signal Acquisition[J]. IEEE Communications Letters, 2015, 19(8): 1343-1346.
- [13] LANG R, LI X, GAO F, et al. Re-scaling and Adaptive Stochastic Resonance as a Tool for Weak GNSS Signal Acquisition[J]. Systems Engineering and Electronics, 2016, 27(2): 290-296.
- [14] BRAHIM F, CHONAVEL T, TRUBUIL J, et al. Precise Acquisition of Global Navigation Satellite System Signals in the Presence of Multipath and Influence on Tracking Capability[J]. IET Radar Sonar Navigation, 2015, 9(7): 790-801.
- [15] GAO Z, DAI L, WANG Z, et al. Spatially Common Sparsity Based Adaptive Channel Estimation and Feedback for FDD Massive MIMO[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2015, 63(23): 1.

编辑 索书志

(上接第138页)

- [9] GAO Hongyuan, EJAZ W. Cooperative Wireless Energy Harvesting and Spectrum Sharing in 5G Networks[J]. IEEE Access, 2016, 4(6): 3647-3658.
- [10] CHEN Jian, LÜ Lü, LIU Yiyang. Energy Efficient Relay Selection and Power Allocation for Cooperative Cognitive Radio Networks[J]. IET Communications, 2015, 9(13): 1661-1668.
- [11] 郝万明. 协作认知无线网络中基于能效和谱效的资源分配技术研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2015.
- [12] LIU DANDAN, HUANG Cong. Resource Allocation in High Energy-efficient Cooperative Spectrum Sharing Communication Networks[J]. Chinese Journal of Electronics, 2016, 25(4): 768-773.
- [13] 张国坤. 多元函数的凹凸性[J]. 曲靖师专学报, 1999, 9(1): 10-14.
- [14] RAMAMONJISON R, BHARGAVA V K. Energy Efficiency Maximization Framework in Cognitive Downlink Two-tier Networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2015, 14(3): 1468-1479.
- [15] YONG S S, QUEK T Q S, KOUNTOURIS M. Energy Efficient Heterogeneous Cellular Networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2013, 31(5): 840-850.

编辑 顾逸斐