



认知无线电中基于中继位置和主用户位置的功率分配

陈凤蝶, 杨守义, 宁冰, 李广平

(郑州大学信息工程学院 郑州 450001)

摘要: 针对认知无线网络, 提出了一种基于组间协作的联合直接传输和协作传输的传输机制, 在满足干扰约束和峰值功率约束的情况下, 通过分析瑞利衰落环境下放大转发协作单中继系统的性能, 研究了中继位置和主用户位置对于系统的最优功率分配和系统吞吐量的影响, 并对最优功率分配方案和等功率分配方案的性能进行了比较。仿真结果表明, 中继位置和主用户的位置对于系统性能起着关键的作用, 最优功率分配方案取得相对于等功率分配方案更优的性能, 采用最优功率分配方案时, 中继节点位于源节点和目的节点连线的中点且靠近认知用户时的系统性能最优。

关键词: 认知无线网络; 功率分配; 中继位置; 直接传输和协作传输

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015165

Power Allocation Based on Relay Location and PU Location for CR Network

Chen Fengdie, Yang Shouyi, Ning Bing, Li Guangping

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: A new transmission mechanism called direct and relay-aided transmissions based on inter group cooperation was proposed for the cognitive radio network. The performance of a single-relay system based on amplify-forward in the Rayleigh fading environment by considering the interference constraints and peak power constraints was analyzed. The impact of the relay node and the primary users (PU) location on power allocation and system throughput was investigated and the performance of the optimal power allocation (OPA) scheme and equal power allocation (EPA) scheme was compared. The result shows that the locations of relay node and PU are crucial to the system performance and the proposal optimum power allocation scheme significantly outperforms the equal power allocation scheme. The best performance was achieved when the relay is at an equal distance from the sender and the destination in EPA scheme or the relay is closer to the destination around in OPA scheme.

Key words: cognitive radio network, power allocation, relay location, direct and relay-aided transmissions

收稿日期: 2015-03-11; 修回日期: 2015-06-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 61271421)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China (No. 61271421)

论文引用格式: 陈凤蝶, 杨守义, 宁冰等. 认知无线电中基于中继位置和主用户位置的功率分配. 电信科学, 2015165

Chen F D, Yang S Y, Ning B, *et al.* Power allocation based on relay location and PU location for CR network. Telecommunications Science, 2015165

1 引言

随着无线用户数量和无线通信业务需求的迅速增长,频谱资源匮乏的问题日益突出。认知无线电能够充分利用频谱资源实现频谱共享,解决未来频谱资源短缺(尤其低频段)和现有频谱资源未被充分利用的矛盾^[1]。在认知无线电系统中,只要在不对授权用户产生有害干扰的前提下,非授权用户可以接入授权用户频段,提高频谱利用率^[2]。

协作通信技术利用网络中的终端节点转发源节点发送的信息来扩展覆盖范围,可提供均衡的服务质量,提高网络性能。现在大量文献已经研究了仅有协作传输的情形。参考文献[3]研究了协作通信的中继位置的影响。参考文献[4]在认知的基础上,研究了最优中继选择和功率分配。

若在一个小区内,两个用户需要接收不同的业务,并且两个用户分配在不同的位置,其中一个用户靠近基站,而另一个用户远离基站或者处于深衰落的情况,为了保证两个服务用户都能够正常接收数据,研究联合直接传输和协作传输的网络是十分必要的。参考文献[5]是在协作用户的优先级高于直接用户的系统中,在直接传输不对协作传输产生危害的前提下,提出了一种基于串扰的干扰消除方案。参考文献[6]针对一个直接用户、一个中继用户、一个基站和一个中继站的网络,提出了 4 种协作传输方案,并且仿真验证了所提方案能比传统方案获得更好的传输速率。参考文献[7]优化了直接用户和协作用户的持续时间和传输速率,得到了较好的速率范围和最优总速率值。

基于上述已有的研究成果,本文针对联合直接传输和协作传输的认知无线网络,研究了中继位置和主用户位置对于系统的最优功率分配和系统吞吐量的影响。与上述参考文献相比,本文与参考文献[5]的研究对象不同;参考文献[6]虽然研究的方案与本文相同,但不是在认知网络里;参考文献[7]没有考虑中继位置和主用户位置影响。本文考虑在放大转发(amplify-forward, AF)模式下^[8],当中继位置和主用户位置在系统内变化时,系统的最优功率分配和系统吞吐量的变化趋势。根据系统性能对位置的依赖关系,找到合适的中继坐标,提高系统的性能,并比较了最优功率分配(optimal power allocation, OPA)方案和等功率分配(equal power allocation, EPA)方案的性能。仿真结果表

明,中继位置和主用户的位置对于系统性能起着关键的作用,最优功率分配方案比等功率分配方案的性能好。仿真结果表明,采用最优功率分配时,中继节点位于源节点和目的节点连线中点且靠近认知用户时的系统性能最优。

2 系统模型

认知网络中联合直接传输和协作传输的系统模型如图 1 所示,包括一对主用户节点(主发射机、主接收机)、一个认知用户源节点、两个目的认知用户(即认知用户 1 和认知用户 2),其中认知用户 2 直接由认知源节点服务,而认知用户 1 由于与认知源节点距离太远(大尺度衰落),与认知源节点协作传输,并且中继采用半双工发送模式。由于是频谱共享接入方式,因此主用户和认知用户的信号可以同时出现在相同的频谱上。图 1 中实线表示有用信号,虚线表示干扰信号。

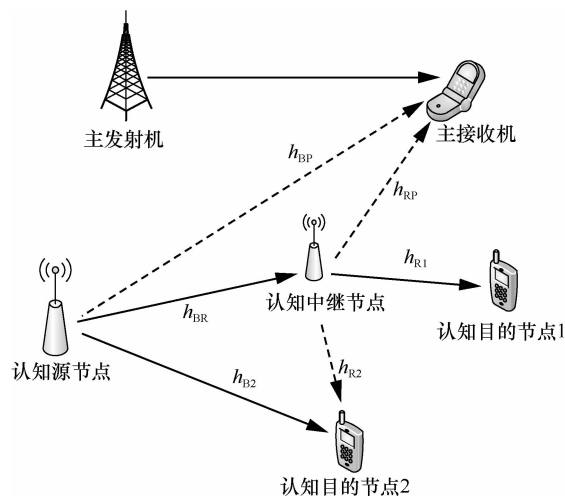


图 1 认知网络中联合直接传输和协作传输的系统模型

这个认知网络最大的特征就是采用直接传输和协作传输联合的传输方式,使系统的性能得到提高。

第一时隙,认知源节点将认知目的节点 1 的数据 x_1 传送给中继节点,同时认知目的节点 2 也收到了认知源节点的数据 x_1 ;第二时隙,中继节点将收到的数据 x_1 转发给认知节点 1,同时认知目的节点 2 接收认知源节点的数据 x_2 。这样,认知目的节点 2 在第二时隙收到中继节点的干扰信号,可以利用它在第一时隙收到的数据 x_1 消除,从而提高系统的性能。

如果将一个频点的一个时隙称为一个资源块,那么按照轮询制,由于认知目的节点 1 和认知中继节点所在的多



播组每次中继传输需要占用两个时隙,而认知目的节点 2 所在的多播组每次传输需要占用一个时隙,两个多播组都是占用相同的频谱资源,所以两个多播组每次传输需要占用 3 个资源块,即一个频点 3 个时隙(轮询制)。而采用基于组间协作的联合直接传输和协作传输相结合的传输机制占用两个资源块,即一个频点两个时隙。在此传输机制下,每次完整传输需要两个时隙,从而提高了无线资源的利用率和传输效率。

利用瑞利快衰落来表征信道模型,即在两个连续的发送时隙内信道保持不变。 h_{SR} 表示认知源节点到中继节点的信道衰落系数, h_{SP} 表示认知源节点到主用户节点的信道衰落系数, h_{S2} 表示认知源节点到目的节点 2 的信道衰落系数, h_{RP} 表示中继节点到主用户节点的信道衰落系数, h_{R1} 表示中继节点到目的节点 1 的信道衰落系数, h_{R2} 表示中继节点到目的节点 2 的信道衰落系数。信道增益表达式为:

$$|h| = \sqrt{\rho} \phi \quad (1)$$

其中,信道衰落因子 ϕ 是服从瑞利衰落的随机变量, ρ 是路径损耗,假设路径损耗的平方与距离的某次方成反比,即 $\rho = d^{-\delta}$,其中 δ 表示发射机和接收机之间的距离, δ 是 2~4 的整数,表示路径损耗指数。

在第一阶段,中继节点和认知目的节点 2 接收到的信号分别是:

$$y_{R1}[1] = \sqrt{P_1} h_{SR} x_1 + n_{R1}[1] \quad (2)$$

$$y_2[1] = \sqrt{P_1} h_{S2} x_1 + n_2[1] \quad (3)$$

其中, P_1 是在第一时隙在认知源节点处的发射功率, $n_{R1}[1]$ 和 $n_2[1]$ 分别是第一时隙时在中继节点和认知目的节点 2 处的高斯白噪声,它们都服从高斯分布,均值为 0,方差为 σ^2 。

在第二阶段,由参考文献[9]可知,认知目的节点 1 和认知目的节点 2 接收到的信号分别是:

$$\begin{aligned} y_1[2] &= h_{R1} \beta y_{R1}[1] + n_1[2] \\ &= h_{R1} \beta \sqrt{P_1} h_{SR} x_1 + h_{R1} \beta n_{R1}[1] + n_1[2] \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} y_2[2] &= \sqrt{P_3} h_{S2} x_2 + h_{R2} \beta y_{R1}[1] + n_2[2] \\ &= \sqrt{P_3} h_{S2} x_2 + \beta h_{R2} \sqrt{P_1} h_{SR} x_1 + \beta h_{R2} n_{R1}[1] + n_2[2] \end{aligned} \quad (5)$$

其中, β 为放大转发因子, $\beta = \sqrt{\frac{P_2}{P_1 |h_{SR}|^2 + \sigma^2}}$, P_2 是在第二时隙中继节点处的发射功率, P_3 是在第二时隙认知源节

点处的发射功率, $n_1[2]$ 和 $n_2[2]$ 分别是第二时隙时在目的节点 1 和目的节点 2 处的高斯白噪声,它们都服从高斯分布,均值为 0,方差为 σ^2 。

所以根据参考文献[10],在目的节点 1 处的接收信噪比为:

$$\gamma_1 = \frac{P_1 P_2 |h_{SR}|^2 |h_{R1}|^2}{\sigma^2 (P_2 |h_{R1}|^2 + P_1 |h_{SR}|^2 + \sigma^2)} \quad (6)$$

那么数据 x_1 的传输速率可以表示为:

$$R_1(P_1, P_2) = \frac{1}{2} \log(1 + \gamma_1) \quad (7)$$

第一时隙和第二时隙在目的节点 2 处的接收信号可以形成一个虚拟的多输入多输出(MIMO)系统,根据参考文献[11]可以表示为:

$$\begin{bmatrix} y_2[1] \\ y_2[2] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{P_1} h_{S2} \\ \sqrt{P_1} \beta h_{SR} h_{R2} \end{bmatrix} x_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ \sqrt{P_3} h_{S2} \end{bmatrix} x_2 + \begin{bmatrix} n_2[1] \\ \beta h_{R2} n_{R1}[1] + n_2[2] \end{bmatrix} \quad (8)$$

如果使用迫零(ZF)接收机,由参考文献[12]可知,在目的节点 2 处的接收信噪比可以表示为:

$$\gamma_2 = \frac{P_3 |h_{S2}|^4}{\frac{P_2 |h_{R2}|^2}{P_1 |h_{SR}|^2 + \sigma^2} (|h_{SR}|^2 \sigma^2 + |h_{S2}|^2 \sigma^2) + |h_{S2}|^2 \sigma^2} \quad (9)$$

那么数据 x_2 的传输速率可以表示为:

$$R_2(P_1, P_2, P_3) = \frac{1}{2} \log(1 + \gamma_2) \quad (10)$$

认知网络的总速率是两个认知用户的总速率之和,它取决于第一阶段在认知源节点处的发射功率 P_1 、第二阶段在中继节点处的发射功率 P_2 以及第二阶段在认知源节点处的发射功率 P_3 ,可以表示为:

$$R_a(P_1, P_2, P_3) = R_1(P_1, P_2) + R_2(P_1, P_2, P_3) \quad (11)$$

3 最优功率分配

当认知用户共享授权用户的频谱时,可以通过增加认知源节点和中继节点的发射功率增大认知链路数据传输速率,但是不能无限制地增加,因为在增大数据传输速率的同时也增大了对授权用户的干扰,使授权用户的服务质量不能得到保障。为了保障主用户通信的服务质量,对认知用户的功率控制是必要的。通过联合对主用户的干扰功率约束和认知网络节点的峰值功率约束,最大化认知用户

传输速率的优化模型。

$$\max_{P_1, P_2, P_3} R_a(P_1, P_2, P_3) \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t. } & P_1 |h_{\text{SP}}|^2 \leq I \\ & P_3 |h_{\text{SP}}|^2 + P_2 |h_{\text{RP}}|^2 \leq I \\ & P_1 \leq P_{\text{BS}} \\ & P_2 \leq P_{\text{R}} \\ & P_3 \leq P_{\text{BS}} \end{aligned} \quad (13)$$

其中, 式(13)的第一项和第二项是两个时隙中认知用户对授权用户的干扰约束, 保证对授权用户的干扰低于给定的门限值 I 。后 3 项是两个时隙中在认知源节点和中继节点发射功率的约束, 由于设备容量的限制, 每个节点的发射功率都不能大于每个节点的峰值功率约束。

根据式(6)可知, 在目的节点 1 处接收信噪比 γ_1 是随着 P_1 单调递增的, 而在目的节点 2 处接收信噪比 γ_2 也是随着 P_1 单调递增的, 因此 $R_1(P_1, P_2)$ 和 $R_2(P_1, P_2, P_3)$ 都随着 P_1 单调递增, P_1 的最优值为:

$$P_1^* = \min \left\{ P_{\text{BS}}, \frac{I}{|h_{\text{SP}}|^2} \right\} \quad (14)$$

第二时隙在认知源节点处的发射功率 P_3 不影响 $R_1(P_1, P_2)$, 而 $R_2(P_1, P_2, P_3)$ 随着 P_3 单调递增, 因此 $R_a(P_1, P_2, P_3)$ 是随着 P_3 单调递增的, P_3 的最优值为:

$$P_3^* = \min \left\{ P_{\text{BS}}, \frac{I - P_2 |h_{\text{RP}}|^2}{|h_{\text{SP}}|^2} \right\} \quad (15)$$

所以 P_2 和 P_3 的最优解应该满足式(15)。因此, 本文只考虑满足式(15)的 P_2 和 P_3 , 分两种情况求 P_2 和 P_3 的值。

情况 1 当 $P_2 \leq \frac{I - P_{\text{BS}} |h_{\text{SP}}|^2}{|h_{\text{RP}}|^2}$, 可知 $P_3^* = P_{\text{BS}}$, 那么:

$$\begin{aligned} R_a(P_1^*, P_2, P_3^*) &= \frac{1}{2} \ln(1 + \frac{P_1^* P_2 |h_{\text{SR}}|^2 |h_{\text{R1}}|^2}{\sigma^2 (P_2 |h_{\text{R1}}|^2 + P_1^* |h_{\text{SR}}|^2 + \sigma^2)}) + \\ &\frac{1}{2} \ln(1 + \frac{P_{\text{BS}} |h_{\text{S2}}|^4}{\frac{P_2 |h_{\text{R2}}|^2 \sigma^2}{P_1^* |h_{\text{SR}}|^2 + \sigma^2} (|h_{\text{SR}}|^2 + |h_{\text{S2}}|^2) + |h_{\text{S2}}|^2 \sigma^2}) \end{aligned} \quad (16)$$

对目标函数求一阶导数, 可得:

$$\begin{cases} f(P_2) = \frac{(ab - ac - c) \left(P_2 + \frac{abd - bc}{ab - ac - c} \right)^2}{(aP_2 + P_2 + b)(P_2 + b)(P_2 + c + d)(P_2 + d)} + \\ \frac{abd(c + d) - b^2c - \frac{(abd - bc)^2}{ab - ac - c}}{(aP_2 + P_2 + b)(P_2 + b)(P_2 + c + d)(P_2 + d)} \\ a = \frac{P_1^* |h_{\text{SR}}|^2}{\sigma^2} \\ b = \frac{P_1^* |h_{\text{SR}}|^2 + \sigma^2}{|h_{\text{R1}}|^2} \\ c = \frac{P_{\text{BS}} |h_{\text{S2}}|^4 (P_1^* |h_{\text{SR}}|^2 + \sigma^2)}{(|h_{\text{R2}}|^2 |h_{\text{SR}}|^2 + |h_{\text{R2}}|^2 |h_{\text{S2}}|^2) \sigma^2} \\ d = \frac{|h_{\text{S2}}|^2 (P_1^* |h_{\text{SR}}|^2 + \sigma^2)}{|h_{\text{R2}}|^2 |h_{\text{SR}}|^2 + |h_{\text{R2}}|^2 |h_{\text{S2}}|^2} \end{cases} \quad (17)$$

根据式(17), 显而易见可知分母大于 0, 即: $(aP_2 + P_2 + b)(P_2 + b)(P_2 + c + d)(P_2 + d) > 0$ 。为了简化分子的符号表示, 令:

$$\begin{cases} n = abcd + abd^2 - b^2c - \frac{(abd - bc)^2}{ab - ac - c} \\ N(P_2) = (ab - ac - c) \left(P_2 + \frac{abd - bc}{ab - ac - c} \right)^2 + n \end{cases} \quad (18)$$

· 如果 $\frac{n}{ab - ac - c} > 0$, 可得: $P_{2,1}^* = \arg \max_{P_2 \in \rho} R_a(P_1^*, P_2, P_3^*) = \rho = \left\{ 0, \min \left\{ \frac{I - P_{\text{BS}} |h_{\text{SP}}|^2}{|h_{\text{RP}}|^2}, P_{\text{R}} \right\} \right\}$;

· 如果 $\frac{n}{ab - ac - c} \leq 0$, 可得分子为 0 的两个解为:

$$p_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{-n}{ab - ac - c} - \frac{abd - bc}{ab - ac - c}}.$$

$P_{2,1}^*$ 表示 $\frac{n}{ab - ac - c} > 0$ 时, 第二时隙在认知中继节点处

的最优发射功率; $p_{1,2}$ 表示 $\frac{n}{ab - ac - c} \leq 0$ 时, 第二时隙在认知中继节点处最优发射功率的两个可能取值 p_1 和 p_2 。

$P_{2,1}^* = \arg \max_{P_2 \in \rho} R_a(P_1^*, P_2, P_3^*)$ 可以分为以下 4 种情况:

· 如果 $p_{1,2} \in \left[0, \min \left\{ \frac{I - P_{\text{BS}} |h_{\text{SP}}|^2}{|h_{\text{RP}}|^2}, P_{\text{R}} \right\} \right]$, 则 $\rho = \left\{ 0, p_{1,2}, \min \left\{ \frac{I - P_{\text{BS}} |h_{\text{SP}}|^2}{|h_{\text{RP}}|^2}, P_{\text{R}} \right\} \right\}$;



- 如果 $p_{1,2} \notin \left[0, \min\left\{\frac{I-P_{\text{BS}}|h_{\text{SP}}|^2}{|h_{\text{RP}}|^2}, P_{\text{R}}\right\}\right]$, 则 $\rho = \left\{0, \min\left\{\frac{I-P_{\text{BS}}|h_{\text{SP}}|^2}{|h_{\text{RP}}|^2}, P_{\text{R}}\right\}\right\}$;
- 如果 $\left\{p_1 \in \left[0, \min\left\{\frac{I-P_{\text{BS}}|h_{\text{SP}}|^2}{|h_{\text{RP}}|^2}, P_{\text{R}}\right\}\right\} \cap \left\{p_2 \notin \left[0, \min\left\{\frac{I-P_{\text{BS}}|h_{\text{SP}}|^2}{|h_{\text{RP}}|^2}, P_{\text{R}}\right\}\right\}\right\}$ 则 $\rho = \left\{0, p_1, \min\left\{\frac{I-P_{\text{BS}}|h_{\text{SP}}|^2}{|h_{\text{RP}}|^2}, P_{\text{R}}\right\}\right\}$;
- 如果 $\left\{p_1 \notin \left[0, \min\left\{\frac{I-P_{\text{BS}}|h_{\text{SP}}|^2}{|h_{\text{RP}}|^2}, P_{\text{R}}\right\}\right\} \cap \left\{p_2 \in \left[0, \min\left\{\frac{I-P_{\text{BS}}|h_{\text{SP}}|^2}{|h_{\text{RP}}|^2}, P_{\text{R}}\right\}\right\}\right\}$ 则 $\rho = \left\{0, p_2, \min\left\{\frac{I-P_{\text{BS}}|h_{\text{SP}}|^2}{|h_{\text{RP}}|^2}, P_{\text{R}}\right\}\right\}$ 。

情况 2 当 $P_2 > \frac{I-P_{\text{BS}}|h_{\text{SP}}|^2}{|h_{\text{RP}}|^2}$, 可知 $P_3^* = \frac{I-P_2|h_{\text{RP}}|^2}{|h_{\text{SP}}|^2}$ 。

$$R_a(P_1^*, P_2, P_3^*) = \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{P_1^* P_2 |h_{\text{SR}}|^2 |h_{\text{RI}}|^2}{\sigma^2 (P_2 |h_{\text{RI}}|^2 + P_1^* |h_{\text{SR}}|^2 + \sigma^2)} + \frac{1}{2} \ln \frac{I - P_2 |h_{\text{RP}}|^2}{|h_{\text{SP}}|^2} |h_{\text{S2}}|^4 \right) \quad (19)$$

对式(19)求一阶导数,与情况1的求解方法一样,可以得到情况2时的最优功率 $P_{2,2}^*$ 。

简而言之,第一时隙在认知源节点的发射功率的全局最优解为:

$$P_1^* = \min \left\{ P_{\text{BS}}, \frac{I}{|h_{\text{SP}}|^2} \right\} \quad (20)$$

第二时隙在中继节点的发射功率的全局最优解为:

$$P_2^* = \arg \max_{P_{2,i}} R_a(P_{1,i}^*, P_{2,i}^*, P_{3,i}^*), \quad i = 1, 2 \quad (21)$$

其中:

$$P_{3,i}^* = \min \left\{ P_{\text{BS}}, \frac{I - P_{2,i}^* |h_{\text{RP}}|^2}{|h_{\text{SP}}|^2} \right\} \quad (22)$$

第二时隙在认知源节点的发射功率的全局最优解为:

$$P_3^* = \min \left\{ P_{\text{BS}}, \frac{I - P_2^* |h_{\text{RP}}|^2}{|h_{\text{SP}}|^2} \right\} \quad (23)$$

由于3个功率所有可能的区域都考虑了,所以上述方案所得的最优功率分配方案的解是全局最优解。

4 等功率分配

传统的等功率分配方案就是中继节点和认知源节点的发射功率相等,那么在同时满足授权用户的干扰约束和

各节点的峰值功率约束时,可得:

$$P_1 = P_2 = P_3 = \min \left\{ P_{\text{BS}}, P_{\text{R}}, \frac{I}{|h_{\text{SP}}|^2 + |h_{\text{RP}}|^2} \right\} \quad (24)$$

5 仿真结果及分析

利用具体的参数求解系统的最优功率分配以及系统的吞吐量,通过 MATLAB 仿真软件仿真分析中继位置和主用户位置对系统最优功率分配和吞吐量的影响。

如图2所示,仿真中为了限制参数的数目,假设认知源节点、目的节点1和目的节点2的位置是固定的,分别是(0,0)、(2,0)和(1,-1);中继节点与认知源节点以及目的节点1在一条直线上,但它的位置不固定,设为(r,0);主用户的位置为(x,y)。不失一般性,仿真时设定信道衰落因子是服从瑞利衰落的随机变量,路径损耗的平方与距离的4次方成反比,信道噪声功率为 $\sigma^2=1$,峰值功率约束为 $P_{\text{BS}}=P_{\text{R}}=15$ dB。每个仿真结果都是平均每5000次信道实现获得的。

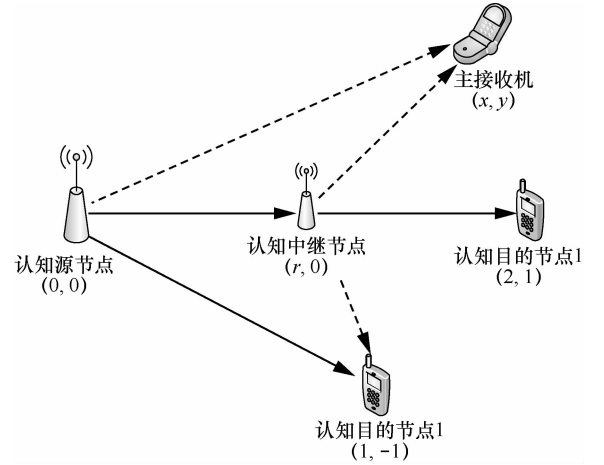


图2 位置说明

图3表明了当主用户位于(1,2)时,中继的位置对于系统最优功率分配的影响。由于 P_1^* 只与认知源节点到授权用户的链路以及峰值功率约束有关,因此 P_1^* 不随着中继位置的变化而变化。用户1的速率 $R_1(P_1, P_2)$ 仅仅与 P_1 和 P_2 有关,而 P_1 不随 r 的变化而变化,因此 $R_1(P_1, P_2)$ 仅由 P_2 决定,并且随着 P_2 的增大而增大。虽然 P_2 的增加会导致目的节点2的速率 $R_2(P_1, P_2, P_3)$ 减小,但是当 r 较小时,在第二时隙中继节点对目的节点2的干扰较小,因此总速率还是随着 P_2 的增大而增大。随着 r 和 P_2 的增加,在第二时隙中继节点对目的节点2的干扰越来越大,同时目的

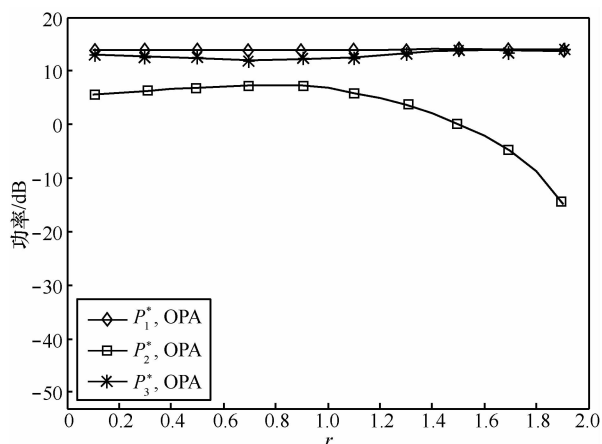


图3 不同中继位置时的最优功率分配

节点 1 的噪声干扰比重越来越大,因此 P_2^* 随着 r 的增大而减小。

图 4 表明了等功率和最优功率分配两种方案下,中继节点的位置对于系统总速率的影响。从图 4 中可以看到,不管采用等功率分配方案还是最优功率分配方案,系统的总速率都是随着中继位置 r 的增大先增大后减少,并且无论中继位于何处,最优功率分配方案都能取得相比等功率分配方案更优的系统性能,在同样的条件下,速率提高了 50% 以上。从图 4 中还可以看出,采用等功率分配方案时,当 $r=1$,即中继节点位于认知源节点和目的节点 1 的连线的中点时,系统的吞吐量最大;采用最优功率分配方案时,当中继节点位于认知源节点和目的节点 1 连线的中点且靠近认知用户时,系统的性能最优。因为,当中继节点稍微靠近目的节点 1 时,可以通过降低第二时隙中继节点的发射功率和增大第二时隙在认知源节点处的发射功率提高系统总速率。

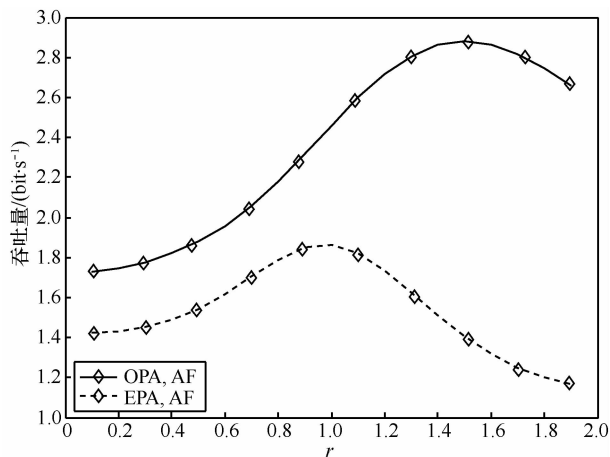


图4 不同中继点位置时系统的吞吐量

为了限制参数的数量,将主用户位置的纵坐标 y 值固定,只改变主用户位置的横坐标 x 。将中继节点放在认知源节点与目的用户 1 的连线中点,即在 $(1,0)$ 处。主用户节点的位置变化对功率分配的影响主要通过干扰约束来实现。图 5 表明了主用户的位置对系统最优功率分配的影响。当 $y=2, x \in [-3, 3]$ 时,主用户到中继节点的距离以及主用户到认知源节点的距离都不是足够远。因此在这种情况下,干扰约束发挥了很大的作用。随着 x 先增大后减小,主用户先移向认知源节点,然后移向中继节点,最后再慢慢远离它们。3 个最优功率值都随着 x 先增大后减小,当 $x=0$ 时,认知源节点与主用户的距离最小,因此此时 P_1^* 和 P_3^* 的值最小。当 $x=1$ 时,中继节点与主用户的距离最小,因此此时 P_2^* 的值最小。当 $y=5$ 时,主用户与认知源节点和中继节点的距离比较远,所以在中继节点和认知源节点处的最优发射功率值都要比 $y=2$ 时的功率值大。并且在每一个节点处的最优发射功率仅仅与 CR 网络的结构有关,因此对于不同的 x ,3 个最优发射功率都不变。

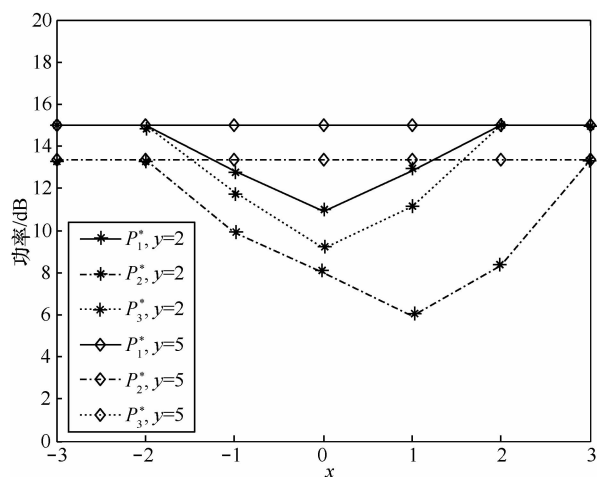


图5 不同 PU 位置时的最优功率分配

图 6 表明了等功率和最优功率分配两种方案下,主用户节点的位置对系统总速率的影响。当 $y=2$ 时,由于干扰限制的影响,两条曲线都随着 x 的增大先减小后增大;当 $y=5$ 时,干扰限制不起作用,两条曲线不随 x 变化。当主用户靠近认知网络时,最优功率分配方案比等功率分配方案性能增益更加明显。

6 结束语

本文研究了采用直接传输和协作传输相结合的认知无线电网络。首先研究了在授权用户能够承受的干扰功率限制

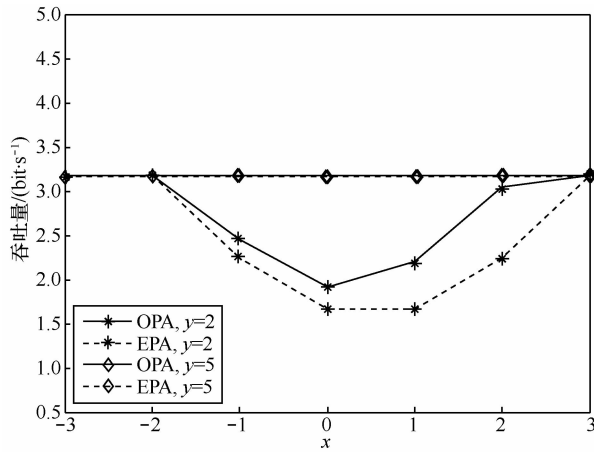


图6 不同PU位置时的总速率

下,使认知用户获得最大传输速率时的最优功率分配方案,然后和等功率分配方案的性能进行了比较。仿真结果表明,中继位置和主用户的位置对于系统性能起着关键的作用,采用最优功率分配时,当中继位于源节点和目的节点连线的中点且靠近认知用户时,系统性能最优。本文所研究的模型可以作为多组多播的认知无线网络的一个基本单元,根据所提出的采用基于组间协作的联合直接传输和协作传输相结合的传输机制,使得每次完整传输仅需要两个时隙,相比采用轮询制时占用的3个时隙,明显提高了无线资源的利用率以及传输效率。利用中继位置的研究结果首先进行两个多播组间的用户配对,即选择位于源节点和目的节点连线的中点且靠近认知用户的中继节点,接着对配对的用户采用最优功率分配,从而使系统获得最大的吞吐量。

参考文献

- 1 FCC 02-155. Federal Communications Commission. Spectrum Policy Task Force Report, Nov 2002
- 2 Haykin S. Cognitive radio: brain-empowered wireless communications. IEEE Journal Selected Areas in Communications, 2005, 23(2): 201~220
- 3 Aldhaibani J A, Yahya A, Ahmad R B, *et al.* Effect of relay location on two-way DF and AF relay for multi-user system in LTE-A cellular networks. Proceedings of 2013 IEEE Business Engineering and Industrial Applications Colloquium, Langkawi, Malaysia, 2013
- 4 Ubaidulla P, Aissa S. Optimal relay selection and power allocation for cognitive two-way relaying networks. IEEE Wireless Communications Letter, 2012, 1(3): 225~228
- 5 Bandemer B, Li Q, Lin X E, *et al.* Overhearing-based

interference cancellation for relay networks. Proceedings the 70th IEEE Vehicular Technology Conference, Anchorage, Alaska, USA, 2009

- 6 Thai C, Popovski P. Coordinated direct and relay transmission with interference cancelation in wireless systems. IEEE Communications Letters, 2011, 15(4): 416~418
- 7 Thai C D T, Popovski P. Rate regions for coordination of decode-and-forward relays and direct users. Proceedings of IEEE International Conference on Communications, Ottawa, Canada, 2012
- 8 Liang Y B, Veeravalli V V. Cooperative relay broadcast channels. IEEE Transactions on Information Theory, 2007, 53(3): 900~928
- 9 Lu L, Li Y, Gang W. Optimal power allocation for CR networks with direct and relay-aided transmissions. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2013, 12(4): 1~11
- 10 Li L Y, Zhou X W, Xu H B, *et al.* Simplified relay selection and power allocation in cooperative cognitive radio systems. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2011, 10(1): 33~36
- 11 Chen J, Pratt T G. Energy efficiency of space and polarization MIMO communications with packet erasures over wireless fading channels. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2014, 13(12): 6557~6569
- 12 Tse D, Viswanath P. Fundamentals of Wireless Communication. Cambridge: Cambridge University Press, 2005

[作者简介]



陈凤蝶,女,郑州大学信息工程学院硕士生,主要研究方向为认知协作通信的资源分配。



杨守义,男,郑州大学信息工程学院教授、博士生导师,主要研究方向为认知无线电技术、信源编码、宽带无线通信、协作通信技术。

宁冰,女,郑州大学信息工程学院博士生,主要研究方向为认知协作下的资源分配。

李广平,男,郑州大学信息工程学院硕士生,主要研究方向为宽带无线通信、协作通信技术。