

A New Relay Selection Strategy under Interference Temperature Constraint

Jie Yu, Shunlan Liu

Department of Communication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou
Email: 302907291@qq.com

Received: Oct. 31st, 2014; revised: Nov. 26th, 2014; accepted: Dec. 2nd, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

One of the key problems in cooperative communication is how to allocate and manage the relay nodes, especially in the secondary user system under the interference temperature constraint. The design of the collaborative scheme should not only maximize the performance of the system, but also need to control the secondary user system's interference in the primary user system. For this situation, a relay selection strategy is proposed based on the collaborative beamforming in the secondary user system. To minimize the outage probability of the secondary user system, a threshold is determined which only allocates the transmission power to the efficient relay links to improve the transfer performance of the system. The simulation results demonstrate that the proposed strategy can effectively reduce the outage probability of the secondary user system, and more over, it is better than the Single Relay Amplify-and-Forward (SAF) scheme and the All Relays Amplify-and-Forward (AAF) scheme.

Keywords

Interference Temperature, Cooperative Beamforming, Relay Selection, Outage Probability

干扰温度约束下的一种新的中继选择策略

余 杰, 刘顺兰

杭州电子科技大学通信工程学院, 杭州
Email: 302907291@qq.com

收稿日期: 2014年10月31日; 修回日期: 2014年11月26日; 录用日期: 2014年12月2日

摘要

协作通信中的一个关键问题是如何分配和管理中继节点,尤其在次用户系统受到干扰温度约束条件下,协作方案的设计不仅要最大限度的提高系统性能,而且需要控制次用户系统对主用户系统的干扰。针对这种情况在次用户系统中提出一种基于协作波束形成中继选择策略,该方法以最小化次用户系统中断概率为目标,推导出一个中继选择门限,保证了有限的传输功率只分配给高效的中继链路,从而提高系统传输性能。仿真结果显示,该建议方法优于单中继转发方案和全中继转发方案,能有效降低次用户系统中断概率。

关键词

干扰温度, 协作波束形成, 中继选择, 中断概率

1. 引言

在多中继协作网络中,通过利用中继节点之间形成的虚拟天线特性,在各个节点之间进行协作波束赋形可以有效提高系统性能[1],然而由于每条协作链路具有不同的衰落特性,这会使得信道条件恶劣的中继也占用了系统资源,因此,如何设计中继选择方案,从而有效利用系统资源成为一个广受关注的问题。文献[2][3]中的中继选择策略要获得实时信道状态信息,每个节点需要监听并接受信令,这在实际系统中很难实现[2][3]。文献[4][5]提出一种基于平均信道状态信息的中继选择策略,减少了信令开销,但没有考虑此系统各节点的发射功率可能会对临近传输系统的影响[4][5]。无线通信用户通常被分成两类:主用户(Primary Users, PU)和次用户(Secondary Users, SU)[6],其中SU的优先级较低,只有在不影响PU的通信时与其共享频谱资源。为了实现频谱共享,SU需控制对PU的叠加干扰使其在PU可接受的界限内,这种干扰功率限制通常被称为干扰温度约束。本文提出一种干扰温度约束下的最佳中继集合选择策略,在对主用户系统产生干扰不超过门限值情况下,基于协作波束赋形理论和信道统计特性推导了次用户系统中的中继选择门限,降低了次用户系统信号传输中断概率。

2. 系统模型

考虑一个如图1所示的SU中继网络模型,SU源节点S、SU目的节点D、中继节点 R_i ($i=1,2,\dots,M$)及存在于SU网络附近的PU节点。源节点S的信号通过M个中继节点R传递到目的节点D,S和D之间的直传链路也可传递信号,除此之外,源节点和中继节点发射信号时均可对PU节点产生干扰。为了降低系统复杂度,每个节点只装配一根电线,假设系统中所有信道均为瑞利衰落信道。

中继节点工作在放大转发方式下,从源节点S到目的节点D的传输过程可以分成两个阶段,第一阶段,源节点以功率 P_s 向中继节点和目的节点发送单位能量信号S,此时S到 R_i 以及S到D的传输信号 $y_{s,i}$ 与 $y_{s,d}$ 分别如下[7]:

$$y_{s,i} = \sqrt{P_s} h_{s,i} s + n_i \quad (1)$$

$$y_{s,d} = \sqrt{P_s} h_{s,d} s + n_{d,1} \quad (2)$$

式中 $h_{s,i}$ 和 $h_{s,d}$ 分别是源节点到第*i*个中继点和源节点到目的点之间链路的信道冲击响应,其方差为 $\Omega_{s,i}$ 、 $\Omega_{s,d}$, n_i 和 $n_{d,1}$ 分别是在中继点和目的点的加性复高斯白噪声,为简便起见,设中继点与目的点处的加性白噪声服从相同复高斯分布,其均值为0,方差为 N_0 。

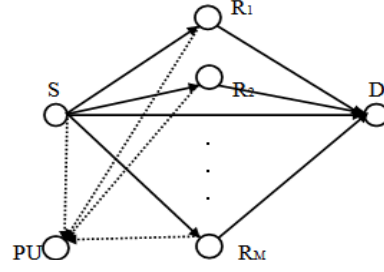


Figure 1. SU relay network model
图 1. SU 中继网络模型

第二阶段，中继点首先将接收到的信号能量归一化，由于可以获得完全信道状态信息故中继点可求出复波束赋形系数 w_i 。所有的 M 个中继点传到目的点的是被复波束赋形系数 w_i 加权的 x_i 信号，因此，在目的点接收到的由中继点集合 R 传输的信号为：

$$y_{r,d} = \sum_{i=1}^M \sqrt{P_i} h_{i,d} w_i x_i + n_{d,2} = \sum_{i=1}^M w_i \left(\frac{\sqrt{P_s} \sqrt{P_i} h_{s,i} h_{i,d}}{\sqrt{P_s |h_{s,i}|^2 + N_0}} \right) s + \left(\sum_{i=1}^M \frac{\sqrt{P_i} h_{i,d} w_i n_i}{\sqrt{P_s |h_{s,i}|^2 + N_0}} + n_{d,2} \right) = \sum_{i=1}^M w_i h_i s + n_d \quad (3)$$

式中， P_i 是第 i 个中继点的传输功率， $h_{i,d}$ 是第 i 个中继点到目的点链路的信道冲击响应，其方差为 $\Omega_{i,d}$ ， $n_{d,2}$ 是第二阶段目的点的加性复高斯白噪声。

定义第二阶段等效信道冲击响应 h_i 为：

$$h_i = \frac{\sqrt{P_s P_i} h_{s,i} h_{i,d}}{\sqrt{P_s |h_{s,i}|^2 + N_0}} \quad (4)$$

第二阶段目的节点的等效加性噪声 n_d 符合复高斯分布：

$$n_d \sim CN \left(0, \left(1 + \sum_{i=1}^M |w_i|^2 |H_{ii}|^2 \right) N_0 \right) \quad \text{其中, } H_{ii} = \frac{\sqrt{P_i} h_{i,d}}{\sqrt{P_s |h_{s,i}|^2 + N_0}} \quad (5)$$

将两个阶段接收的信号最大比合并得到目的节点接收信噪比为：

$$\gamma_d = \frac{P_s |h_{s,d}|^2}{N_0} + \frac{\left| \sum_{i=1}^M w_i h_i \right|^2}{\left(1 + \sum_{i=1}^M |w_i H_{ii}|^2 \right) N_0} \quad (6)$$

3. 最优波束赋形和中继选择策略

由公式(6)及文献[8]可知最优波束赋形情况下目的节点接收信噪比为[8]：

$$\gamma_d^{opt} = \frac{P_s |h_{s,d}|^2}{N_0} + \sum_{i=1}^M \frac{P_s P_i |h_{s,i}|^2 |h_{i,d}|^2}{\left(P_s |h_{s,i}|^2 + P_i |h_{i,d}|^2 + N_0 \right) N_0} \quad (7)$$

最优波束赋形情况下的接收信噪比的表达式与文献[9]中等式(7)有相同形式，因此，一个中继数为 m 的中继集合，在高信噪比条件下，最优协作波束赋形网络的中断概率近似表达式为[9]：

$$P_{out}^m \approx \frac{\left(\left(2^{(m+1)R} - 1 \right) N_0 \right)^{m+1}}{(m+1)!} \frac{1}{P_s \Omega_{s,d}} \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{P_s \Omega_{s,i}} + \frac{1}{P_i \Omega_{i,d}} \right) \quad (8)$$

初始状态中，中继集合包含所有中继节点，随后，不满足中继选择门限的中继点将被逐一去除。要使原来有 m 个中继的传输中断概率 P_{out}^m 大于排除一个中继后的中断概率 P_{out}^{m-1} ，即：

$$P_{out}^m / P_{out}^{m-1} > 1 \quad (9)$$

将式(8)代入式(9)中得：

$$P_{out}^m / P_{out}^{m-1} = \frac{\left((2^{(m+1)R} - 1) N_0 \right)^{m+1}}{(m+1) \left((2^{mR} - 1) N_0 \right)^m} \left(\frac{1}{P_s \Omega_{s,i}} + \frac{1}{P_i \Omega_{i,d}} \right) \prod_{i=1}^{m-1} \frac{\left(\frac{1}{P_s \Omega_{s,i}} + \frac{1}{P_i \Omega_{i,d}} \right)}{\left(\frac{1}{P_s \Omega_{s,i}} + \frac{1}{P_i' \Omega_{i,d}} \right)} > 1 \quad (10)$$

P_i' 是去掉一个中继节点后第 i 个中继节点的传输功率，且假定被选择到的中继节点间功率等分，故有 $P_i' > P_i$ ，则易知上式右半部分的连乘项大于 1。将式(10)中做近似并整理得：

$$\left(\frac{1}{P_s \Omega_{s,i}} + \frac{1}{P_i \Omega_{i,d}} \right) > \frac{(m+1) \left((2^{mR} - 1) N_0 \right)^m}{\left((2^{(m+1)R} - 1) N_0 \right)^{m+1}} \quad (11)$$

为了使 SU 源节点和中继节点的发射功率不影响 PU，需满足：

$$P_s |h_{s,PU}|^2 \leq P, \quad P_i \sum_{i=1}^m |h_{i,PU}|^2 \leq P$$

即：

$$P_s \leq P / |h_{s,PU}|^2, \quad P_i \leq P / \sum_{i=1}^m |h_{i,PU}|^2 \quad (12)$$

其中 $h_{s,PU}$ ， $h_{i,PU}$ 是源节点 S 与第 i 个中继节点分别到 PU 的信道冲击响应，其方差为 $\Omega_{s,PU}$ ， $\Omega_{i,PU}$ ， P 是 PU 允许的最大干扰门限。将式(12)代入式(11)并整理得：

$$\frac{\sum_{i=1}^m |h_{i,PU}|^2}{\Omega_{i,d}} + \frac{|h_{s,PU}|^2}{\Omega_{s,i}} > \frac{P(m+1) \left((2^{mR} - 1) N_0 \right)^m}{\left((2^{(m+1)R} - 1) N_0 \right)^{m+1}} \quad (13)$$

式(13)即为选择中继点的判断标准，在中继集合中满足此关系式条件的中继点将被逐一删除。

整个算法过程总结如下：

- (1) 源节点向中继节点和目的节点传送信号，这时所有中继节点包含在中继集合中。
- (2) 将每个中继节点的信息都传给源节点，源节点中预先设置的选择策略即式(13)，若其中左半部分最大值大于右半部分的选择门限，则该节点从中继集合中删除，源节点不会向此中继点发射信号，进入步骤 3。若最大值小于选择门限，表示现有的所有中继节点均不满足式(13)，则节点不会被删除，选择过程结束。
- (3) 中继数更新为 $m = m - 1$ ，若此时 $m \leq 1$ ，选择过程结束，否则将新的中继数代入式(13)再次选择。

4. 实验结果与分析

仿真参数：6 个中继节点随机分布在 $|x| \leq 0.5, |y| \leq 0.8$ 的坐标轴内，源节点、目的节点、主用户节点的坐标分别为 $(-0.5, 0)$ ， $(0.5, 0)$ ， $(0, 0.8)$ ，中继和目的节点处的加性白噪声方差 $N_0 = 0$ dB。

假设所有信道服从复高斯分布，即：

$$h_{a,b} \sim CN\left(0, \frac{1}{(1+c)^t}\right)$$

a 表示发射节点, b 表示接收节点, c 表示发射与接收节点间的距离, t 表示路径损耗指数, 在这里设为 3。信道实现次数为 10,000 次, 系统中的中断概率为所有实现结果的平均值。

如图 2 所示, 取 $R=1$ bps/Hz, 由本文中中继选择方案(Best Selective Relays, BSR)、单中继转发方案(Single Relay Amplify-and-Forward, SAF)以及全中继参与方案(All relays Amplify-and-Forward, AAF)的中断概率比较, 可以看出, BSR 方案比 SAF 和 AAF 方案在系统性能上均有一定改善, 中断概率始终是最小的。接着, 如图 3 所示, 取 $P=10$ dB, 给出了不同传输速率下三种方案对性能影响的比较, 可以看出 BSR 中断概率最小, 方案性能最优。

5. 结束语

本文提出传输功率受限情况下基于协作波束赋形的中继选择策略。该方案以最小化次用户统的中断

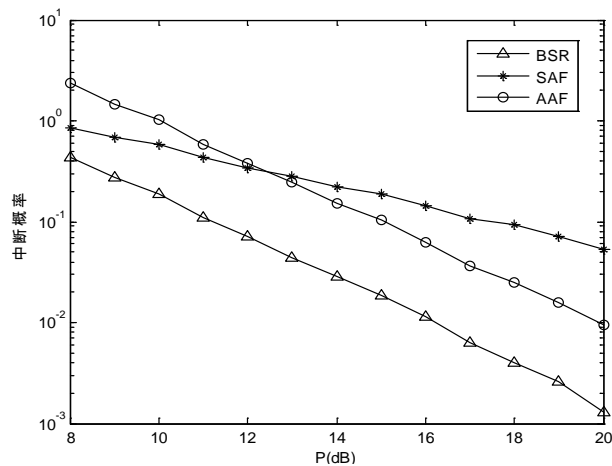


Figure 2. The comparison of outage probability under different interruption threshold P
图 2. 不同干扰门限 P 下中断概率比较

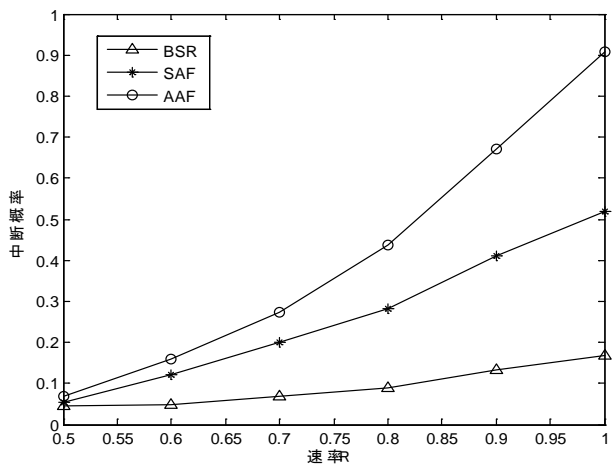


Figure 3. The comparison of outage probability under different information rate R
图 3. 不同信息速率 R 下中断概率比较

概率为目标, 由最优协作波束赋形网络的中断概率公式推导出最佳中继集合选择门限, 选择满足门限条件的中继节点参加协作波束赋形, 从而使有限的传输功率只分配给更高效的中继链路。实验结果表明, 本文 BSR 在高低信噪比的情况下系统性能均优于 SAF 和 AAF 算法。在不同的信息传输速率下 BSR 算法也为最优。

参考文献 (References)

- [1] Madan, R., Mehta, N.B. and Molisch, A.F. (2008) Energy-efficient cooperative relaying over fading channels with simple relay selection. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, **7**, 3013-3025.
- [2] Bletsas, A. and Khisti, A. (2006) A simple cooperative diversity method based on network path selection. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, **24**, 659-672.
- [3] Zhao, Y., Adve, R. and Lim, T. (2007) Improving amplify-and-forward relay networks: Optimal power allocation versus selection. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, **6**, 3114-3123.
- [4] 刘顺兰, 徐光建 (2012) 改进的多用户协作通信系统中继选择策略. *计算机工程*, **6**, 101-103.
- [5] 惠鏊, 朱世华 (2008) 一种基于放大转发的中继选择策略. *西安交通大学学报*, **4**, 450-453.
- [6] Lan, A. and Lee, W.Y. (2006) Next generation dynamic spectrum access cognitive radio wireless networks: A survey. *Computer Networks*, **50**, 2127-2159.
- [7] Jing, Y.D. and Jafarkhani, H. (2009) Network beamforming using relays with perfect channel information. *IEEE Transactions on Information Theory*, **55**, 2499-2517.
- [8] Zhao, Y., Adve, R. and Lim, T. (2008) Beamforming with limited feedback in amplify-and-forward cooperative networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, **7**, 5145-5149.
- [9] Zhao, Y., Adve, R. and Lim, T. (2006) Symbol error rate of selection amplify-and-forward relay systems. *IEEE Communications Letters*, **10**, 757-759.