

Study of Optimal Relay Selection Based on Joint Optimization Function

Mali Chen, Wensheng Sun, Jixin Zeng, Tao Chen

Communication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou
Email: CML_26@163.com

Received: Oct. 22nd, 2014; revised: Nov. 16th, 2014; accepted: Nov. 20th, 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

This paper introduces the optimal relay selection algorithm based on joint optimization function, and it applies the optimal power distribution mechanism which can allocate the source and relay power reasonably. Under condition that the total power is limited, the proposed optimal power distribution mechanism, compared with the equal power distribution mechanism, can make the power distribution more effective, and nodes in the network have a longer lifetime. The simulation results based on MATALAB show that the relay, which uses the optimal power distribution mechanism based on the joint optimization function, has a better performance.

Keywords

Cooperative Communication, Optimal Relay Selection, Equal Power and Optimal Power Allocation, SNR and BER

基于联合优化函数选择最优中继的研究

陈玛丽, 孙文胜, 曾纪欣, 陈 韬

杭州电子科技大学通信工程学院, 杭州
Email: CML_26@163.com

收稿日期: 2014年10月22日; 修回日期: 2014年11月16日; 录用日期: 2014年11月20日

摘要

该文介绍了基于联合优化函数进行最优中继选择的算法，并采用最优功率分配机制对源与中继进行功率的合理分配。总功率一定条件下，与采用的等功率分配机制相比，最优功率分配机制功率更合理地分配功率，节点网络寿命更长。MATLAB仿真结果表明采用最优功率分配机制的联合优化函数选择的中继，通信性能较好。

关键词

协作通信，最优中继选择，等功率与最优功率分配，接收信噪比和符号差错率

1. 引言

协作通信已成为无线通信的研究热点，提出了多种协作策略，其中放大转发[1] (AF, Amplify and Forward)策略和译码转发[2] (DF, Decode and Forward)策略备受关注。相对 AF 策略而言，DF 策略实现更复杂，耗能更多。目前关于如何选择中继用于提高协作通信性能已取得大量研究成果。文献[3]在 AF 策略下，只考虑信噪比对中继选择的影响，选信噪比最大者为最优中继转发数据，但未考虑中继寿命问题。文献[4]在 AF 策略下考虑了网络寿命问题，提出了 4 种中继选择与功率分配方案，并证明最大化能量效率(MEI)的平均网络寿命最佳，但其未考虑信噪比影响。文献[5]将网络寿命与信噪比联合考虑，但直接采用等功率分配机制对源和中继进行功率分配，未考虑不同信道参数对功率分配的影响，导致功率分配不一定合理。本文在联合考虑网络寿命和信噪比条件下，采用最优功率分配机制，结合信道参数对功率资源进行合理分配，提高了网络寿命及协作网络整体传输效率。

2. 系统模型与问题描述

2.1. 模型建立

无线协作通信网络如图 1 所示。

图 1 中一个用户作为源节点，另外 M 个用户充当中继节点。源向目的节点传输信息的过程可以分为二个阶段。第 1 阶段：源节点通过瑞利平坦衰落信道广播发送符号 x ， x 具有零均值和单位方差，假设符号的平均能量为 1。第 2 阶段：所有中继都采用放大转发策略同步转发数据。设中继 i 为最优中继，可得目的节点接收信号为：

$$y = \sqrt{P_0} \frac{|h_{s,r_i} h_{r_i,d}| \sqrt{P_i}}{\sqrt{|h_{s,r_i}|^2 P_0 + N_0}} x + \frac{|h_{r_i,d}| \sqrt{P_i}}{\sqrt{|h_{s,r_i}|^2 P_0 + N_0}} n_{s,r_i} + n_{r_i,d} \quad (1)$$

其中等效噪声为：

$$n'_{r_i,d} = \frac{|h_{r_i,d}| \sqrt{P_i}}{\sqrt{|h_{s,r_i}|^2 P_0 + N_0}} n_{s,r_i} + n_{r_i,d} \quad (2)$$

假设 n_{s,r_i} 和 $n_{r_i,d}$ 为相互独立的加性高斯白噪声，服从 $CN(0, N_0)$ 高斯分布；则等效噪声 $n'_{r_i,d}$ 是零均值的复高斯随机变量，且方差为：

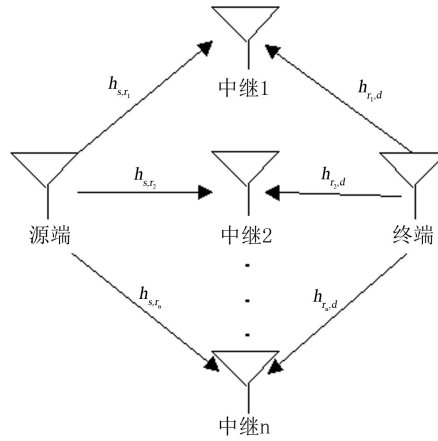


Figure 1. Wireless cooperative communication networks
图 1. 无线协作通信网络

$$N'_0 = \left(\frac{|h_{r_i,d}|^2 P_i}{|h_{s,r_i}|^2 P_0 + N_0} + 1 \right) N_0 \quad (3)$$

其中 h_{s,r_i} 和 $h_{r_i,d}$ 为信道参数信息； P_0 和 P_i 分别为源节点和第 i 个中继点发送的最大功率；
 由假设发送符号 x 的平均能量为 1，根据信噪比定义公式，得中继到目的接收信噪比为：

$$\text{SNR}_i = \frac{1}{N_0} \times \frac{P_0 P_i |h_{s,r_i} h_{r_i,d}|^2}{|h_{s,r_i}|^2 P_0 + |h_{r_i,d}|^2 P_i + N_0} \quad (4)$$

在上述无线协作通信系统中，文献[3]中提出的最优中继选择方案是将每个中继节点的接收信噪比排序，选信噪比最大的中继，即信道质量最好的中继。

2.2. 网络寿命问题

如果只选择信噪比最大的节点作为中继节点，中继可能出现剩余的能量不足而无法继续工作的问题，因此网络中继节点的寿命问题也很重要。

因为最大化能量效率(MEI)准则的平均网络寿命性能最佳，故本文采用 MEI 准则，记为

$$k_{\text{MEI}}^* = \arg \max \frac{E_i^{\text{last}}}{P_{i\text{min}}} \quad (5)$$

式(5)中 $P_{i\text{min}}$ 为网络传输不中断的中继节点的最小发射功率， E_i^{last} 为中继节点剩余能量。中继节点 i 满足网络传输不中断的条件为：

$$\text{SNR}_i \geq \gamma_{th} \quad (6)$$

其中 γ_{th} 为最低接收信噪比门限，且 SNR_i 是关于 P_i 的递增函数。将公式(4)代入公式(6)化简得，满足网络传输不中断的中继节点的最小发射功率为：

$$P_{i\text{min}} = \frac{\left(N_0 + P_0 |h_{s,r_i}|^2 \right) N_0 \gamma_{th}}{P_0 |h_{s,r_i} h_{r_i,d}|^2 - |h_{r_i,d}|^2 N_0 \gamma_{th}} \quad (7)$$

3. 最优中继选择及功率分配

将信道质量 SNR_i 和能量效率 k_{MEI}^* 联合考虑, 构造出选择最优中继的标准函数:

$$L(h_{s,r_i}, h_{r_i,d}, E_i^{\text{last}}) = \text{SNR}_i \cdot k_{\text{MEI}}^* = \text{SNR}_i \cdot \frac{E_i^{\text{last}}}{P_{\text{imin}}} = \frac{1}{N_0} \times \frac{P_0 P_i |h_{s,r_i} h_{r_i,d}|^2}{|h_{s,r_i}|^2 P_0 + |h_{r_i,d}|^2 P_i + N_0} \times \frac{E_i^{\text{last}} (P_0 |h_{s,r_i} h_{r_i,d}|^2 - |h_{r_i,d}|^2 N_0 \gamma_{th})}{(N_0 + P_0 |h_{s,r_i}|^2) N_0 \gamma_{th}} \quad (8)$$

$$= \frac{E_i^{\text{last}} P_0 P_i |h_{s,r_i} h_{r_i,d}|^2 [P_0 |h_{s,r_i} h_{r_i,d}|^2 - \gamma_{th} |h_{r_i,d}|^2]}{(P_0 |h_{s,r_i}|^2 + P_i |h_{r_i,d}|^2 + 1) (1 + P_0 |h_{s,r_i}|^2) \gamma_{th}}$$

故最优中继 i 为使(8)式满足取值最大的中继, 即可表示如下:

$$R_i = \arg \max_i \{L(h_{s,r_i}, g_{r_i,d}, E_i^{\text{last}})\} \quad (9)$$

式(7)中 P_0 与 P_i 只与总功率 P 有关, 其值取决于采用何种功率分配方法。

采用文献[6]推导定理: 采用 MPSK 调制的 AF 协作系统的 SER(Symbol Error Rate, 符号差错率)表达式, 在相对较高的信噪比下, 可以获得 SER 表达式很近似的渐进式, 对渐进式取最小值, 即 SER 最小, 来实现 AF 协作系统最优功率分配。

对固定的总发射功率 $P_0 + P_i = P$, 需要最优化 P_0 与 P_i 以使得 AF 协议下非常逼近 SER 的近似解最小, 即 SER 最小, 其等效于使以下式子(10)取最小:

$$G(P_0, P_i) = \frac{1}{P_0 \delta_{s,d}^2} \left(\frac{1}{P_0 \delta_{s,r_i}^2} + \frac{1}{P_i \delta_{r_i,d}^2} \right) \quad (10)$$

其中 $\delta_{s,d}^2$ 、 δ_{s,r_i}^2 和 $\delta_{r_i,d}^2$ 分别为源到目的、源到最优中继和最优中继到目的信道系数的方差值, 且均不为 0。通过(10)式对 P_0 求偏导, 且令其为零, 得

$$\delta_{s,r_i}^2 (P_0^2 - P_0 P_i) - 2\delta_{r_i,d}^2 P_i^2 = 0 \quad (11)$$

结合 $P_0 + P_i = P$ 得, 当 SNR 足够高时, 采用 MPSK 调制的 AF 协作系统下最优功率分配为:

$$P_0 = \frac{\delta_{s,r_i}^2 + \sqrt{\delta_{s,r_i}^2 + 8\delta_{r_i,d}^2}}{3\delta_{s,r_i}^2 + \sqrt{\delta_{s,r_i}^2 + 8\delta_{r_i,d}^2}} P \quad (12)$$

$$P_i = \frac{2\delta_{s,r_i}^2}{3\delta_{s,r_i}^2 + \sqrt{\delta_{s,r_i}^2 + 8\delta_{r_i,d}^2}} P \quad (13)$$

4. 仿真结果与相应分析

引用文献[5]推导出的理论条件 SER 公式:

$$\bar{P}_{\text{SER}} = \frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} E \left[e^{-K\gamma/\sin^2\theta} \right] d\theta = \frac{1}{\pi} \int_0^{(M-1)\pi/M} \frac{\sin^2\theta (P_0 \delta_{s,r_i}^2 + P_i \delta_{r_i,d}^2) N_0}{\sin^2\theta (P_0 \delta_{s,r_i}^2 + P_i \delta_{r_i,d}^2) N_0 + K P_0 \delta_{s,r_i}^2 P_i \delta_{r_i,d}^2} d\theta. \quad (14)$$

在瑞利衰落的加高斯白噪声信道环境下取不同功率分配机制进行 MATLAB 仿真, 其中信号经 BPSK 调制, 每次传输信号长度为 10^5 个符号。中继节点总能量为 10 焦耳, 剩余能量在 0 到 10 焦耳之间随机分配。可得仿真结果如下:

图 2 所示选择不同的中继传输信息产生的 SER 比较图。图中可以看出基于剩余能量最大的最优中继，未考虑信道质量选择，传输符号差错率最大；而基于接收信噪比最大的最优中继，选择的中继信道质量最好，符号差错率最低。本算法将信道质量与剩余能量综合考虑，符号差错率介于两者之间；采用最优功率分配机制因为功率的最优分配，比采用等功率分配的符号差错率小。

图 3 所示网络寿命随着接收信噪比门限的变化图。基于剩余能量最大选择的中继忽略了信道质量的影响，当信道质量变差时，必须增大发射功率以维护中继转发，网络寿命次于本算法。基于最大接收信噪比最大的中继虽然信道质量是最好的，可是未考虑中继剩余能量，如果中继能量不足以转发，网络协作将终止，因此网络寿命也不如本算法。而本算法中采用最优功率分配机制的中继，由于信源和中继能量得到合理分配，网络寿命最佳。

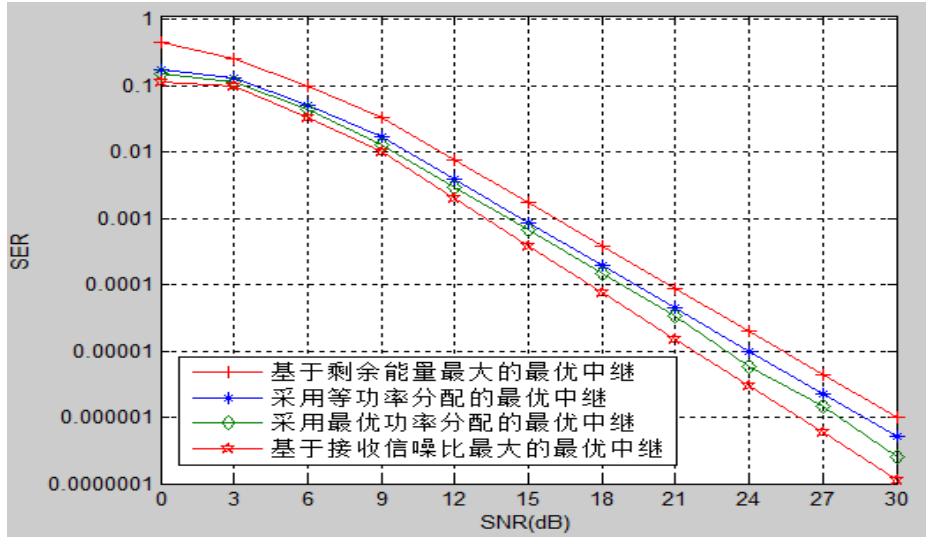


Figure 2. BER comparison chart about each algorithm

图 2. 各算法误码率关系比较图

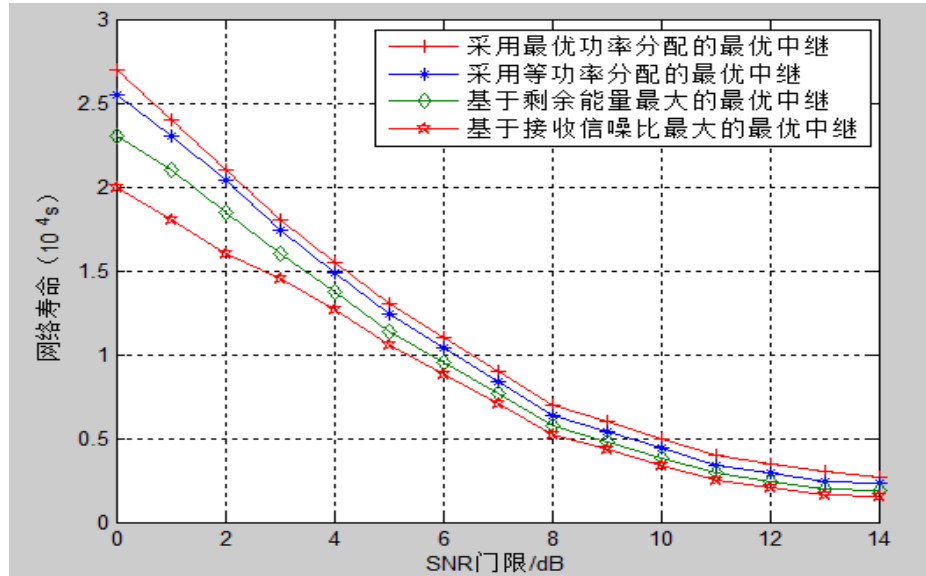


Figure 3. The changes of network lifetime about each algorithm

图 3. 各算法网络寿命的变化情况

5. 结束语

本文将信道质量与节点剩余能量联合考虑, 在总功率一定的条件下, 不采用直接对源和中继的功率进行等功率分配, 而是采用最优功率分配机制。根据源、中继和目的端不同的信道参数变化, 可以进行功率的合理分配, 减少不必要的能量资源浪费, 同时提高了协作通信的性能。仿真结果验证了本算法的符号差错率虽然比基于最大接收信噪比的符号差错率高, 但网络寿命比其长, 更适用于做中继节点的移动终端。

参考文献 (References)

- [1] Laneman, J.N., Tse, D.N.C. and Wornell, G.W. (2004) Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior. *IEEE Transactions on Information Theory*, **50**, 3062-3080.
- [2] Sendonaris, A., Erkip, E. and Aazhang, B. (2003) User cooperation diversity. Part I, II. *IEEE Transactions on Communications*, **51**, 1927-1948.
- [3] Jing, Y., Jafarkhani, H. (2009) Single and multiple relay selection schemes and their diversity orders. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, **8**, 1414-1423.
- [4] Haijiaghayi, M., Dong, M. and Liang, B. (2010) Maximizing lifetime in relay cooperation through energy-aware power allocation. *IEEE Transactions on Signal Processing*, **58**, 4354-4366.
- [5] 袁明鸽 (2012) 基于接收信噪比和网络寿命的最优中继选择. *中国电信科学*, 1-4.
- [6] (美) K. J. Ray Liu. (2010) 协作通信及网络. 北京电子工业出版社, 10(11): 96-141.