

文章编号: 2095-4980(2017)02-0211-04

两种典型中继处理策略环境下天线选择性能比较

黄晓晖¹, 束 锋^{1,2,3}, 刘婷婷^{1,4}, 胡锦涛¹, 陆锦辉¹

(1.南京理工大学 电子工程与光电技术学院, 江苏 南京 210094; 2.东南大学 移动通信国家重点实验室, 江苏 南京 210096;
3.中国电波传播研究所 电波环境及模块化技术重点实验室, 山东 青岛 266107; 4.南京工程学院 通信工程学院, 江苏 南京 211167)

摘 要: 考虑到天线选择(AS)具有实现简单和性能好等优点, 通过仿真评估在不同中继策略场景下天线选择的性能。评估方法如下: 中继站第 1 时隙采用最大比合并算法(MRC), 第 2 时隙选择中继处理后具有最大信道增益的单天线进行信号传输。仿真结果表明: 与现有的分布式空时码(DSTBC)和最大比合并、最大比合并和匹配滤波(MF)算法相比, 最大比合并加天线选择混合方案在转发重传(AF)和译码重传(DF)策略下都能够提供更优的合速率与误码性能; 并且在中继站采用译码转发策略时, 该方案表现出优于采用放大转发策略的情形。例如, 当误码率(SER)等于 10^{-3} 时, 译码转发策略具有 1 dB 的信噪比(SNR)增益。

关键词: 天线选择; 最大比合并; 信道增益; 放大转发; 译码转发

中图分类号: TN820

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201702.0211

Performance comparison of antenna selection under two different typical relay strategies

HUANG Xiaohui¹, SHU Feng^{1,2,3}, LIU Tingting^{1,4}, HU Jinsong¹, LU Jinhui¹

(1.College of Electronic Engineering and Optical Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu 210094, China;
2.National Mobile Communications Research Laboratory, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China;
3.Key Laboratory of Radio Environment and Modular Technology, China Research Institute of Radio Wave Propagation, Qingdao Shandong 266107, China; 4.College of Communication Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing Jiangsu 211167, China)

Abstract: Antenna Selection(AS) has the advantages of simple implementation and good performance. The performance of AS in the relay networks with Amplify-and-Forward(AF) and Decode-and-Forward(DF) strategies is evaluated. The evaluation method is as following: the first time slot of the relay station adopts the Maximum Ratio Combining(MRC) algorithm and the second time slot selects the optimal channel which has the maximum channel gain for signal transmission. Simulation results show that the MRC plus AS can provide better information rate and Signal Noise Ratio(SNR) performance compared to the Distributed Space-Time Block Coding(DSTBC) plus Maximum Ratio Combining(MRC) or MRC plus MF. When Symbol Error Rate(SER)= 10^{-3} , the scheme in the DF based relay network achieves a 1 dB SNR gain over the scheme in the AF based network.

Keywords: Antenna Selection; Maximum Ratio Combining; channel gain; Amplify-and-Forward; Decode-and-Forward

由于协作通信在网络覆盖范围和容量提升方面的显著优势, 越来越受到研究人员的关注, 并被广泛应用于无线通信中。DSTBC, MRC 以及它们的联合优化方案已经在文献[1-7]中被提出, 用于提升中继网络的协作分集。文献[6]提出基于多中继网络的 DSTBC 来获得协作分集。为了进一步提升 DSTBC 性能, 获得可观的 SNR 增益, 文献[8]提出了 MRC 联合 DSTBC 的解决方案, 即在中继模型第 1 跳接收端采用 MRC 波束成形, 在第 2 跳采用 DSTBC。文献[9]基于双向中继系统提出了 3 种协作分集方案。文献[10]设计了一种迭代结构来最大化传输速率, 但文章并没有给出解析解。AS 方案在降低发射/接收端硬件复杂度的同时, 能够提供满分集增益并且有效地提升了频谱效率, 所以被越来越广泛地应用于无线通信领域。在 AS 技术中, 天线子集的选择是基于发射/接收端完全

知道信道状态信息(Channel State Information, CSI)^[11]。文献[12]指出,发射天线选择(Transmit Antenna Selection, TAS)需要在发射端知道完全的 CSI,这样就强制地在接收端进行 CSI 估计并反馈给发射端。在文献[13]中, MRC 作为接收端的分集合并技术,被 TAS 用来进行 CSI 的估计。文献[14]中, MRC 被用来最大化接收端的 SNR。

本文采用的是单向中继系统,源和目的节点各配有 1 根天线,中继站配有多根天线。DSTBC、分布式波束成形和 AS 技术均能够有效地利用中继站的多根天线来提高系统传输性能。然而,相对于 DSTBC 和分布式波束成形要求中继各天线之间具有理想的时间或频率同步^[15], AS 技术更加简单、实用,并且能够获得满分集增益,所以分别将 AS 与 AF 和 DF 中继端的 MRC 相结合,以此来比较 2 种中继机制下 AS 对系统误码性能和传输速率的改善程度。最后,仿真结果和性能分析对比了 AF/DF 中继机制各自的性能优势。

1 系统模型

图 1 所示为 2 跳中继模型,包含 1 个源节点 S, 1 个目的节点 D 和 1 个中继站 RS,所有节点间进行半双工传输,即不能同时收发信息。

本文讨论 AF,DF 这 2 种中继机制下的系统传输性能,由于路径损耗以及阴影衰落,假设源节点 S 到目的节点 D 没有直达通道。节点 S 和 D 各配有 1 根天线,中继 RS 配有 M 根天线, h_m, g_m 分别表示源节点 S 到中继、中继到目的节点 D 的信道衰落系数。在第 1 时隙,源节点将信号

$\sqrt{P_s}s$ 传输到中继站 RS,其中 s 是发送码字, P_s 是传输功率。限定 $E\{ss^*\}=1$,则中继端第 m 根天线接收到的信号 r_m 可表示为:

$$r_m = \sqrt{P_s}h_m s + n_{RS,m} \quad (1)$$

式中 $n_{RS,m}$ 表示中继端第 m 根天线处的加性噪声,满足均值为 0,方差为 σ_{RS}^2 。

2 不同中继处理策略下的天线选择

2.1 放大转发

在 AF 传输机制中,中继 RS 首先对接收到的信号 r_m 进行 MRC 处理,并对处理后的信号进行功率归一化,得到:

$$t_m = \beta_{AF} h_m^* r_m = \beta_{AF} (\sqrt{P_s} |h_m|^2 s + h_m^* n_{RS,m}) \quad (2)$$

式中 β_{AF} 为功率归一化因子:

$$\beta_{AF} = \frac{P_{RS}}{\sqrt{P_s \left(\sum_{m=1}^M |h_m|^2 \right)^2 + \sum_{m=1}^M |h_m|^2 \sigma_{RS}^2}} \quad (3)$$

考虑到实际通信系统空间的局限性,各天线之间不可避免地产生相互干扰,影响了系统的传输性能。所以在中继发射端采用一种单天线 AS 的传输方案,即中继 RS 在下行链路中挑选信道增益最好的一个信道 g_{opt} ,并将中继处理后的信号全部经由该信道传输给目的节点 D,目的节点接收到的信号 y 可表示为:

$$y = \sqrt{P_{RS}} \sum_{m=1}^M t_m g_{opt} + n_B = \beta_{AF} \sqrt{P_s P_{RS}} g_{opt} \sum_{m=1}^M |h_m|^2 s + g_{opt} \sqrt{P_{RS}} \sum_{m=1}^M h_m^* n_{RS} + n_B \quad (4)$$

式中: P_s, P_{RS} 分别为源节点 S 和中继站 RS 的发射功率; n_B 为目的节点 D 处的零均值复高斯噪声,方差为 σ_B^2 。

在目的节点,采用最大似然(Maximum Likelihood, ML)的译码方式,即:

$$\arg \min \left\| y - \beta_{AF} \sqrt{P_s P_{RS}} g_{opt} \sum_{m=1}^M |h_m|^2 s \right\|_F^2 \quad (5)$$

同时,也得到了采用此 AS 方案的 AF 系统的信道容量:

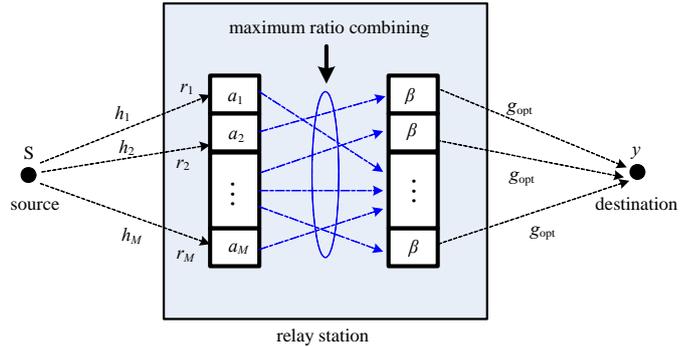


Fig.1 System model

图 1 系统框图

$$C_{AF} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\beta_{AF}^2 P_S P_{RS} |g_{opt}|^2 \left(\sum_{m=1}^M |h_m|^2 \right)^2}{P_{RS} |g_{opt}|^2 \sum_{m=1}^M |h_m|^2 \sigma_{RS}^2 + \sigma_B^2} \right) \quad (6)$$

2.2 译码转发

与 AF 传输相似，在第 1 时隙，中继 RS 接收到的信号可用式(1)表示，然后对接收到的信号进行 MRC 处理：

$$r'_m = \sqrt{P_S} h'_m h_m s + h'_m n_{RS}^m \quad (7)$$

中继站 RS 采用合适的解码方式对 r'_m 进行处理，为了提高传输准确性，这里采用 ML 译码，译码后的符号表示为 \hat{s} ，所以中继端的传输符号：

$$t = \beta_{DF} \hat{s} \quad (8)$$

功率归一化因子 β 表示为：

$$\beta_{DF} = \sqrt{\frac{P_{RS}}{\text{tr}(\hat{s}\hat{s}^H)}} \quad (9)$$

同样地，中继 RS 在下行链路中挑选信道增益最好的信道 g_{opt} 进行信息传输，接收信号

$$y = \sqrt{P_{RS}} t g_{opt} + n_d = \sqrt{P_{RS}} \beta_{DF} \hat{s} g_{opt} + n_B \quad (10)$$

与 AF 中继一样，在目的节点采用 ML 译码，

$$\arg \min \|y - \sqrt{P_{RS}} \beta_{DF} g_{opt} \hat{s}\|_F^2 \quad (11)$$

其信道容量表示为：

$$C_{DF} = \frac{1}{2} \min \left[\log_2 \left(1 + \frac{P_S \sum_{m=1}^M |h_m|^2}{\sigma_{RS}^2} \right), \log_2 \left(1 + \frac{P_S \beta_{DF}^2 |g_{opt}|^2}{\sigma_B^2} \right) \right] \quad (12)$$

3 仿真结果及分析

在本节中，对 2 种中继传输机制下的 AS 算法进行仿真，并将其与现有的协作分集方案进行对比。取中继天线数 $M=4$ ，源节点和目的节点各配备 1 根天线。假设中继上下行链路各信道之间相互独立且满足 Rayleigh 分布，中继站 RS 和目的节点 D 处的 SNR 分别定义为： $R_{SN,RS} = P_S / (M\sigma_{RS}^2)$ 和 $R_{SN,D} = P_{RS} / (\sigma_D^2)$ ，噪声方差 $\sigma_{RS}^2 = \sigma_D^2 = 1$ 。为了保证 AS 方案与对比方案拥有同样的频谱效率，统一采用 16-QAM 调制方式。

图 2 是 SER 随 SNR 变化的曲线。假设中继端 RS 和目的节点 D 的 SNR 相同的情况下，对比了已有的 MRC-DSTBC, MRC-MF 和所需对比的 AF/DF 中继机制下的 AS 方案。由图可知，AF 中继中的 AS 方案相比于 MRC-DSTBC 和 MRC-MF 在性能上稍有改善，而 DF 机制下的 AS 方案对性能的提高比较明显。在 $R_{SE}=10^{-3}$ 时，DF 机制相比于 AF 机制，有近似 1.5 dB 的 SNR 增益。

图 3 是系统信息速率随中继站 SNR 变化曲线。很明显，2 种中继机制下的 AS 方案在合速率方面比现有的 MRC-DSTBC、MRC-MF 提升明显。当合速率为 $3 \text{ bit}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Hz}^{-1}$ 时，2 种方案都有近 2.5 dB 的 SNR 增益。同时，从图中可以看出，当 SNR 大于 15 dB 时，AF/DF 机制下的 AS 方案的曲线趋于重合。

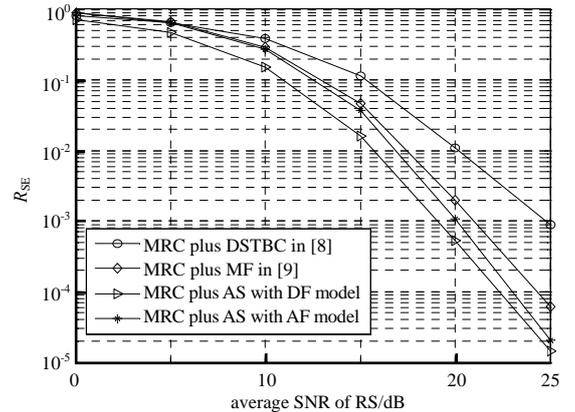


Fig.2 Curves of SER versus $R_{SN,RS}$ with 16-QAM modulation
图 2 误符号率随中继信噪比变化曲线

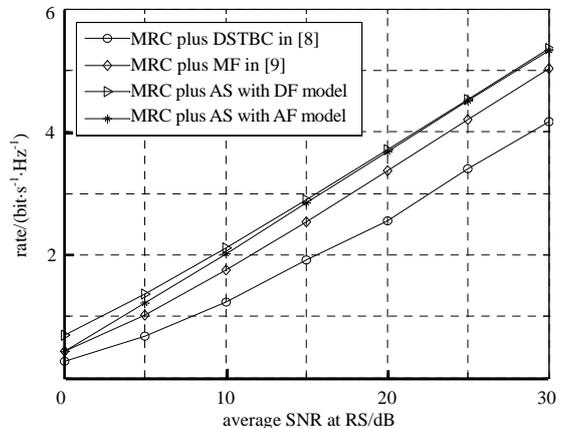


Fig.3 Rate performance comparison
图 3 信息速率随中继信噪比变化曲线

4 结论

本文比较了 AF/DF 这 2 种中继传输机制中基于 MRC 的单天线选择方案。由仿真结果分析可知,相比于传统的 MRC-DSTBC 和 MRC-MF 模型,在中继 MRC 中引入 AS 思想,可在目的节点获得可观的 SNR 增益,有效地提高了系统的误码性能。同时,仿真结果表明,在低 SNR 时,DF 传输机制在误码率和信息传输速率方面,都比 AF 传输机制有性能上的优势。

参考文献:

- [1] LANEMAN J N,WORNELL G W. Distributed space-time coded protocols for exploiting cooperative diversity in wireless networks[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2003,49(10):2415-2525.
- [2] NABAR R U. Fading relay channels:performance limits and space-time signal design[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2004,22(6):1099-1109.
- [3] HUA Yingbo,MEI Yan,CHANG Yu. Wireless antennas-making wireless communications perform like wireline commun.[C]// IEEE Topical Conference on Wireless Communication Technology. Honolulu,HI,USA:[s.n.], 2003:47-73.
- [4] CHANG Yu,HUA Yingbo. Application of space-time linear block codes to parallel wireless relays in mobile ad hoc networks[C]// IEEE Conference on Signals Systems and Computers. Anchorage,AK:[s.n.], 2003:1002-1006.
- [5] NASIR A A,MEHRPOUYAN H,DURRANI S,et al. Transceiver design for distributed STBC based AF cooperative networks in the presence of timing and frequency offsets[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2013,61(12):3143-3158.
- [6] JING Yijing,HASSIBI B. Distributed space-time coding in wireless relay networks[J]. IEEE Trans. Wireless Commun., 2006,13(34):3524-3536.
- [7] JING Y. Distributed Space-Time Coding[M]. New York,NY,USA:Springer, 2013.
- [8] JING Y. Combination of MRC and distributed space-time coding in networks with multiple-antenna relays[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2010,9(8):2550-2559.
- [9] LI C,YANG L,ZHU W,et al. Cooperative schemes for two-way relaying protocol[C]// IEEE Conference on Postgraduate Research in Microelectronics and Electronics. Shanghai,China:[s.n.], 2009:49-52.
- [10] LEE N,YANG H J,CHUN J. Achievable sum-rate maximizing AF relay beamforming scheme in two-way relay channels[C]// ICC Workshops-2008 IEEE International Conference on Communications Workshops. Beijing:[s.n.], 2008:300-305.
- [11] HENDRE V S,MURUGAN M. A comprehensive literature survey on antenna selection in MIMO for future generation wireless systems[J]. International Journal of Wireless Communication, 2012,4(13):476-483.
- [12] HENDRE V S,MURUGAN M. Optimal transmit antenna selection for closed loop spatial multiplexed pre-coded MIMO for LTE systems[J]. IETE National Journal of Innovation and Research, 2014,1(2):22-25.
- [13] SUN Qinfang,COX D C,HUANG H C,et al. Estimation of continuous flat fading MIMO channels[C]// IEEE Conference on Wireless Communications and Networking. Orlando,Florida,USA:[s.n.], 2002:549-553.
- [14] CHEN Z,YUAN J,VUCETIC B. Analysis of transmit antenna selection/maximal-ratio combining in Rayleigh fading channels[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2005,54(4):1312-1321.
- [15] LI Xiangming,JIANG Tao,CUI Shuguang,et al. Cooperative communications based on rate-less network coding in distributed MIMO systems[J]. IEEE Wireless Commun., 2010,17(3):60-67.

作者简介:



黄晓晖(1991-),男,江苏省盐城市人,在读硕士研究生,主要研究方向为信道编码、全双工通信.email:hxhui1907@qq.com.

束 锋(1973-),男,安徽省桐城市人,研究员,博士生导师,主要研究方向为无线网络与移动通信、无线定位和雷达信号处理。

刘婷婷(1982-),女,江苏省南通市人,博士,副教授,主要研究方向为认知无线电频谱感知、资源分配、干扰控制以及认知无线网络安全。

胡锦涛(1989-),男,湖南省株洲市人,在读博士研究生,主要研究方向为全双工通信、方向调制。

陆锦辉(1962-),男,南京市人,教授,博士生导师,主要研究方向为毫米波监测系统、雷达回波信号模拟及无源定位技术。