

## 基于非对称信道的双向中继传输方案

范锦宏\*, 何 丽

(北方工业大学 信息工程学院, 北京 100144)

(\* 通信作者电子邮箱 qjh0922@163.com)

**摘 要:** 针对双向中继系统广播时隙的两信道质量非对称时数据传输率受弱链路质量影响而使强链路质量信道增益未被充分利用的问题, 提出一种新的传输方案。该方案采用先验比特信息方法, 弱链路质量的节点在接收信号时利用已知比特信息, 通过映射的子集来解调信号, 使符号间的最小欧氏距离变大, 两链路以与各自质量所对应的数据传输率进行传输, 同时能达到两链路相同误比特率的要求。仿真结果表明该方案可应用到非对称信道的双向中继实际场景。

**关键词:** 双向中继; 多输入多输出; 网络编码; 非对称信道; 先验比特信息

**中图分类号:** TN929.5 **文献标志码:** A

### Transmission scheme of two-way relaying systems based on asymmetric channel

FAN Jin-hong\*, HE Li

(College of Information Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China)

**Abstract:** When the channel qualities of two-way relaying systems to the two stations are asymmetric, the data rates from the relay are limited by the weaker link of the two stations. The channel gain of the stronger link is not fully used. Therefore, a new transmission scheme was proposed. By using the prior bit information method, the weaker link receiver exploited a known bit information in each transmit symbol and decoded on a subset of the transmit symbol constellation which caused different minimum Euclidean distance. The two links can respectively transmit signals at different data rate corresponding to link quality and reach the requirement of the same bit error rate. The simulation results show that the proposed transmission scheme can be applied to practical scenarios with asymmetric channel qualities.

**Key words:** two-way relaying; Multiple-Input Multiple-Output (MIMO); network coding; asymmetric channel; prior bit information

## 0 引言

双向中继协议<sup>[1]</sup>是半双工中继系统中提出的提高频谱效率的一种新技术, 具有增大通信覆盖范围和节省无线资源等诸多优势。该协议两节点通过中间的一个半双工中继互换信息, 且两节点间无直达链路。网络编码<sup>[2]</sup>可应用到中继系统用于提高吞吐量, 目前已将网络编码应用到不同的中继协议, 如解码转发和降噪转发方案<sup>[3]</sup>、估计转发方案<sup>[4]</sup>、放大转发和解码转发之间切换的自适应双向中继方案<sup>[5]</sup>。文献[6]同时把网络编码和多天线技术<sup>[7]</sup>应用到双向中继系统, 但该系统中继到两节点的为对称信道。而信道质量非对称时, 如何使中继发送信号的数据传输率不受弱链路质量的影响是实际系统中的一个主要问题。文献[8-9]采用随机编码方法, 中继以与链路容量相等的速率发送信息; 文献[10]提出在双向中继系统中结合网络编码和网络编码, 但这两种方法的复杂度都较高。文献[2]将物理层网络编码应用到非对称信道场景, 但要求严格的相位预编码, 这在实际场景中无法保证。文献[11]将分布式 Turbo 码应用到非对称双向中继场景, 但未提出实用的中继方案。在实际场景中需要实用且复杂度低的传输方案。本文提出了在双向中继的广播时隙利用先验比特信息的方法来满足非对称信道误比特率的要求。

## 1 系统模型

双向中继系统模型如图 1 所示,  $S_1$  和  $S_2$  为源节点,  $R$  为中继节点。 $S_1$  和  $S_2$  各有 1 个天线,  $R$  有 2 个天线且采用解码转发协议。 $S_1$  发送信号  $b_i^{(1)}$  和  $b_{i+1}^{(1)}$  到  $S_2$ , 其中  $i$  和  $i+1$  表示时间;  $S_2$  发送信号  $b_i^{(2)}$  和  $b_{i+1}^{(2)}$  到  $S_1$ 。设两节点间无直达链路, 需通过  $R$  来进行转发。两节点需经过两个时隙交换信息, 一个是多径时隙, 另一个是广播时隙。多径时隙,  $S_1$  和  $S_2$  同时发送数据到  $R$ , 且假设  $R$  同时收到  $S_1$  和  $S_2$  发送的信号,  $R$  对接收到的信号进行解码。该方案假设多径时隙信号已正确传送到  $R$ , 只考虑广播时隙, 可看成  $2 \times 1$  的 Alamouti MISO (Multiple-Input Single-Output) 系统<sup>[7]</sup>。且设信道状态信息、中继的网络编码方法和调制映射方案分别对  $S_1$  和  $S_2$  已知。

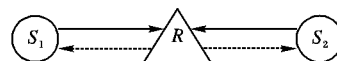


图 1 双向中继系统

广播时隙,  $R$  把收到的数据进行异或得:

$$\begin{cases} d_{i+2}^{(1)} = b_i^{(1)} \oplus b_i^{(2)} \\ d_{i+2}^{(2)} = b_{i+1}^{(1)} \oplus b_{i+1}^{(2)} \end{cases} \quad (1)$$

其中:  $d_{i+2}^{(1)}$  和  $d_{i+2}^{(2)}$  为  $R$  的第 1 个天线和第 2 个天线待发送的信号, 调制后用  $s_R^{(1)}$  和  $s_R^{(2)}$  表示, 设  $s_R = (s_R^{(1)}, s_R^{(2)})^T$ ,  $S_1$  和  $S_2$  收到的信号为:

收稿日期: 2012-03-27; 修回日期: 2012-05-27。 基金项目: 北京市教委科技发展计划项目 (KM201210009006)。

作者简介: 范锦宏 (1976-), 女, 山西晋中人, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向: 无线协作、网络编码; 何丽 (1976-), 女, 山东莱芜人, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向: 移动数据库。

$$\begin{cases} y_1 = H_1 s_R + n_1 \\ y_2 = H_2 s_R + n_2 \end{cases} \quad (2)$$

其中:  $H_1$  和  $H_2$  分别为  $R$  到  $S_1$  和  $S_2$  的信道矩阵,  $n_1$  和  $n_2$  分别为  $S_1$  和  $S_2$  的加性高斯白噪声向量。

$y_1$  和  $y_2$  经最小均方误差检测<sup>[12]</sup> 后为  $\hat{d}_{i+2}$  和  $\hat{d}_{i+3}$ , 与  $S_1$  发出信号  $b_i^{(1)}$  和  $b_{i+1}^{(1)}$  进行异或得接收信号为:

$$\begin{pmatrix} \hat{b}_{i+2}^{(1)} \\ \hat{b}_{i+3}^{(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{d}_{i+2} \oplus b_i^{(1)} \\ \hat{d}_{i+3} \oplus b_{i+1}^{(1)} \end{pmatrix} \quad (3)$$

通过与  $S_2$  发出信号  $b_i^{(2)}$  和  $b_{i+1}^{(2)}$  进行异或得接收信号为:

$$\begin{pmatrix} \hat{b}_{i+2}^{(2)} \\ \hat{b}_{i+3}^{(2)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{d}_{i+2} \oplus b_i^{(2)} \\ \hat{d}_{i+3} \oplus b_{i+1}^{(2)} \end{pmatrix} \quad (4)$$

## 2 传输方案

该方案的发送端  $R$  和接收端  $S_1$  和  $S_2$  的框图如图2所示。假定  $R$  到  $S_1$  的链路质量好, 而  $R$  到  $S_2$  的链路质量差。该方案的目的是利用链路质量好的信道发送更多的信号。

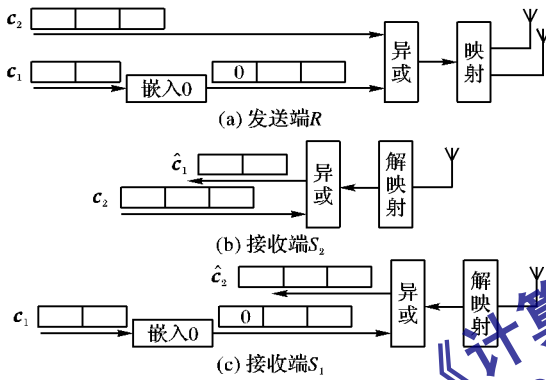


图2 广播时隙发送端和接收端框图

发送端  $R$  的结构如图2(a)所示, 多径时隙  $S_1$  和  $S_2$  同时发送信号, 第一时隙为  $b_i^{(1)}$  和  $b_i^{(2)}$ , 第二时隙为  $b_{i+1}^{(1)}$  和  $b_{i+1}^{(2)}$ 。 $b_i^{(1)}$  被分为每  $nN_R$  比特一组, 用  $c_1$  来表示,  $b_i^{(2)}$  被分为每  $mN_R$  比特一组, 用  $c_2$  来表示, 根据假设的两链路质量,  $n < m$ , 其中  $N_R = 2$  为  $R$  的天线数。调制方式采用八相移键控(8 Phase Shift Keying, 8PSK) 调制,  $M = 2^m$ , 所以  $m = 3$ 。对于每组  $c_1$ , 嵌入  $(m - n)N_R$  个零, 用  $\tilde{c}_1 = [0, 0, \dots, 0, c_1^{nN_R}, c_1^{nN_R+1}, \dots, c_1^1]^T$  表示, 零不包括任何信息, 且它们的位置固定, 该位置对  $S_1$  和  $S_2$  已知。把  $\tilde{c}_1$  和  $c_2$  进行异或得:

$$\begin{aligned} c_R = c_2 \oplus \tilde{c}_1 &= [c_2^{mN_R}, c_2^{mN_R-1}, \dots, c_2^{nN_R+1}, \\ c_2^{nN_R} \oplus c_1^{nN_R}, c_2^{nN_R-1} \oplus c_1^{nN_R-1}, \dots, c_2^1 \oplus c_1^1]^T \end{aligned} \quad (5)$$

$c_R$  调制映射后为向量  $s_R = [s_{R,1}, s_{R,2}, \dots, s_{R,N_R}]^T = \mu(c_R)$ , 其中  $\mu(\cdot)$  表示映射函数。 $N_R$  维符号映射表示为  $\chi = \{s | s = \mu(c), \forall c \in (0, 1)^{mN_R}\} = A^{N_R}$ , 且  $|\chi| = 2^{mN_R}$ 。

$S_1$  接收信号时,  $c_R^i (\forall i \in \{1, 2, \dots, mN_R\})$  的每一位对  $S_1$  来说都是有用信息。为使链路质量差的  $S_2$  在低信噪比能以一定的误比特率接收信号, 在解映射时利用先验比特信息。对  $S_2$  来说,  $c_R^i (\forall i \in \{1, 2, \dots, nN_R\})$  为有用信息, 因为  $(m - n)N_R$  位信息  $[c_2^{mN_R}, c_2^{mN_R-1}, \dots, c_2^{nN_R+1}]$  对  $S_2$  来说已知, 只需解调发送信号映射的子集, 该子集是指在对应位置包括  $[c_2^{mN_R}, c_2^{mN_R-1}, \dots, c_2^{nN_R+1}]$  的映射集合。

8PSK 映射方案如图3所示, 格雷映射如图3(a)所示, 而集分割映射方法1如图3(b)所示, 假设  $n = 2$  且  $c_2^3 = 0$ 。由于  $S_2$  已知  $c_2^3 = 0$ , 只需考虑第三位为0的符号。根据给定

$[c_2^{mN_R}, c_2^{mN_R-1}, \dots, c_2^{nN_R+1}]$ , 定义第三位为0的符号映射的子集为  $s(c_2^{mN_R}, c_2^{mN_R-1}, \dots, c_2^{nN_R+1}) \subset \chi$ , 例如

$$\begin{aligned} s(c_2^{mN_R}, c_2^{mN_R-1}, \dots, c_2^{nN_R+1}) &= \{s | c_{mN_R}(s) = \\ c_2^{mN_R}, c_2^{mN_R-1}, \dots, c_2^{nN_R+1}(s) &= c_2^{nN_R+1}, s \in \chi\} \end{aligned} \quad (6)$$

其中:  $c_j(s)$  表示符号  $s$  映射的第  $j$  位, 由于  $c_2^3 = 0$ ,  $S_2$  解映射的子集表示为  $s(0)$ 。图3(a)和(b)表明不同的映射方案对第三位是0的符号组成不同集合, 对于集分割映射  $s(0)$  中的符号相当于正交相移键控(Quadrature Phase Shift Keying, QPSK)调制, 相对于原来的8PSK调制来说最小欧氏距离增加; 而对于格雷映射来说, 最小欧氏距离没有增加, 所以会影响接收端的解调性能。集分割映射方法2如图3(c)所示, 其中假设  $n = 2$  且  $c_2^3 c_2^2 = 00$ , 映射后的符号如同二相相移键控(Binary Phase Shift Keying, BPSK)调制。 $S_1$  和  $S_2$  在  $(i + 1)$  时刻发出的信号  $b_{i+1}^{(1)}$  和  $b_{i+1}^{(2)}$  也按同样方法处理。

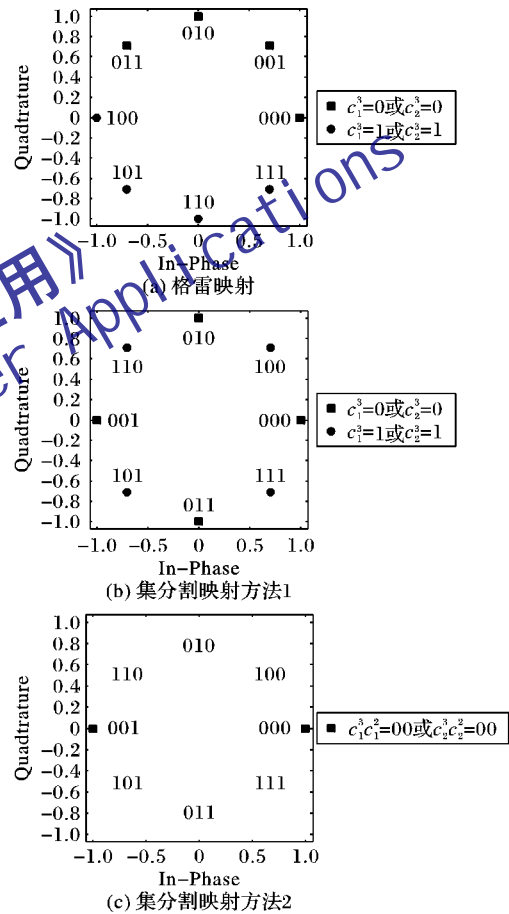


图3 8PSK 映射方案

## 3 仿真结果与分析

本章将给出非对称传输方案性能的仿真结果,  $R$  天线数为2,  $S_1$  和  $S_2$  天线数均为1,  $R$  到  $S_1$  和  $S_2$  为瑞利平衰落信道。 $S_1$  和  $S_2$  接收信号时采用最小均方误差检测。 $S_1$  的信息传输率为  $mN_R$ , 每次传输6 bit, 而  $S_2$  的信息传输率为  $nN_R$ , 当  $n = 2$  时, 每次传输4 bit; 当  $n = 1$  时, 每次传输2 bit。

$R$  采用格雷映射的方案定义为传统方案, 而采用集分割映射的方案为本文方案。本文方案中  $S_2$  每次传输4 bit 时采用图3(b)的映射方法,  $S_2$  每次传输2 bit 时采用图3(c)的映射方法, 其误比特率性能如图4所示, 由于  $R$  到  $S_1$  和  $S_2$  的信道无相互干扰, 横轴代表  $R$  到  $S_1$  的信噪比  $P_R/\sigma_1^2$  和  $R$  到  $S_2$  的

信噪比  $P_R/\sigma_2^2 \circ S_2$  利用先验比特信息可在低信噪比区域按一定的误比特率进行译码。误比特率为  $10^{-2}$  所对应的信噪比如表1所示。当误比特率为  $10^{-2}$  时,对于传统方案,每次传输4 bit的  $S_2$  要求的信噪比比  $S_1$  低1.2 dB,每次传输2 bit的  $S_2$  要求的信噪比比  $S_1$  低3.1 dB;而对于本文方案,每次传输4 bit的  $S_2$  要求的信噪比比  $S_1$  低7.5 dB,每次传输2 bit的  $S_2$  要求的信噪比比  $S_1$  低16.2 dB。传统方案误码率相差不大是因为映射方案变化不会影响欧氏距离的变化。对于每次传输4 bit的  $S_2$ ,本文方案相比传统方案获得了4.3 dB的编码增益。

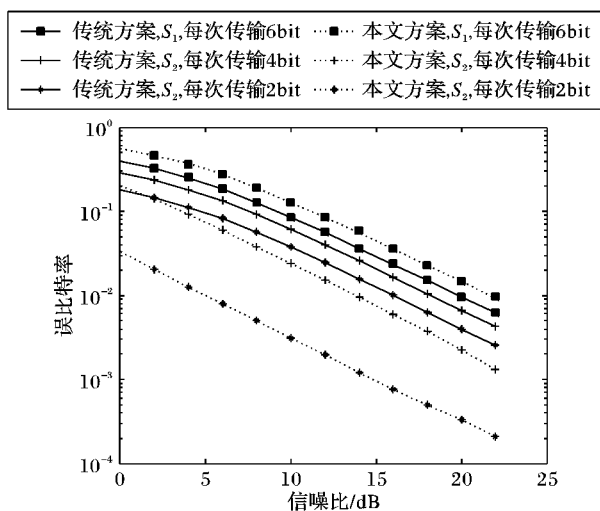


图4 误比特率性能

表1 误比特率为  $10^{-2}$  时对应的信噪比

| 方案   | $S_1$ ,<br>每次传输6 bit | $S_2$     |           |
|------|----------------------|-----------|-----------|
|      |                      | 每次传输4 bit | 每次传输2 bit |
| 传统方案 | 19.3                 | 18.1      | 16.2      |
| 本文方案 | 21.3                 | 13.8      | 5.1       |

#### 4 结语

本文提出了一种基于非对称信道的双向中继传输方案,中继节点同时采用网络编码和多天线技术。该传输方案核心是链路质量差的信道利用先验比特信息使其在低信噪比区域以一定的误比特率接收信号。仿真分析表明,本文方案的性能明显优于传统方案,可应用到基于非对称信道的实际双向中继系统。

#### 参考文献:

- [1] RANKOV B, WITTNEBEN A. Spectral efficient protocols for half duplex fading relay channels [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007, 25(2): 379-389.
- [2] ZHANG S, LIEW S C, LAM P P. Hot topic: Physical layer network coding [C]// Mobicom'06: Proceedings of the 12th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM, 2006: 358-365.
- [3] RANKOV B, WITTNEBEN A. Achievable rate regions for the two way relay channel [C]// ISIT '06: IEEE International Symposium on Information Theory. Piscataway: IEEE, 2006: 1668-1672.
- [4] CUI T, KLEWER J. Performance analysis and optimization [C]// ICC '08: IEEE International Conference on Communications. Piscataway: IEEE, 2008: 1139-1143.
- [5] LI Q, TING S, PANDHARIPANDE A, et al. Adaptive two-way relaying and outage analysis [J]. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2009, 8(6): 3288-3299.
- [6] XU D, BAI Z J, WAADT A, et al. Combining MIMO with network coding: a viable means to provide multiplexing and diversity in wireless relay networks [C]// ICC '10: IEEE International Conference on Communications. Piscataway: IEEE, 2010: 1-5.
- [7] ALAMOUTI S M. A simple transmit diversity technique for wireless communication [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16(8): 1451-1458.
- [8] PICHTERING T J, SCHNURR C, BJELAKOVIC I, et al. Broadcast capacity region of two-phase bidirectional relaying [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2008, 54(1): 454-458.
- [9] XIE L-L. Network coding and random binning for multi-user channels [C]// CTIW '07: 10th Canadian Workshop on Information Theory. Piscataway: IEEE, 2007: 6-8.
- [10] BAIK I-J, CHUNG S-Y. Network coding for two-way relay channels using lattices [C]// ICC '08: IEEE International Conference on Communications. Piscataway: IEEE, 2008: 3898-3902.
- [11] HOU J, HAUSL C, KEOTTER R. Distributed turbo coding schemes for asymmetric two-way relay communication [C]// 5th International Symposium on Turbo Codes and Related Topics. Piscataway: IEEE, 2008: 237-242.
- [12] KIESSLING M, SPECIAL J. Analytical performance of MIMO MMSE receivers in correlated Rayleigh fading environments [C]// VTC 2003-Fall: IEEE 58th Vehicular Technology Conference. Piscataway: IEEE, 2003, 3: 1738-1742.
- [3] WANG HONGMEI, ZHAO HUAN. Performance analysis on ping-pong handoff in mobile IPv6 [C]// 2010 International Conference on Internet Technology and Applications. Piscataway: IEEE, 2010: 1-4.
- [4] YOUSAF F Z, WIEFELD C. Proactive bindings for MIPv6, draft-yousaf-ietf-mipshop-pbfmip6-01.txt [S]. [S.l.]: IETF, 2008.
- [5] GUNDAVELLI S, LEUNG E K. RFC 5213, Proxy mobile IPv6 August [S]. [S.l.]: IETF, 2008.
- [6] 李向丽, 王晓燕, 汪伟. 引入信息学习和绑定代理的 FMIPv6 切换方案 [J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(35): 113-116.
- [7] 林娜, 宋利雪. 一种改进的移动节点快速切换算法研究与仿真 [J]. 小型微型计算机系统, 2009, 11(11): 2195-2198.
- [8] WU YINGWU, ZHOU XIAOQING. Research on the IPv6 performance analysis based on dual-protocol stack and tunnel transition [C]// 6th International Conference on Computer Science & Education. Piscataway: IEEE, 2011: 1191-1193.
- [9] 康娟花. 移动通信系统中移动性管理的形式化描述与验证 [D]. 上海: 华东师范大学, 2009.
- [10] 胡运安, 夏正友, 钟亦平, 等. 移动 IPv6 的快速切换的代数验证 [J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(20): 161-164.
- [11] ARRAEZ J M, ESSEGHIR M, MERGHEM-BOULAHIA L. An implementation of media independent information services for the network simulator NS-2 [C]// IEEE Proceedings of Consumer Communications and Networking Conference. Piscataway: IEEE, 2011: 492-496.
- [12] CAINI C, FARINA F, FIRRINCIELI R, et al. Implementation and analysis of the TCP "adaptive-selection" concept in NS-2 and Linux [C]// ASMS 2008: 4th Advanced Satellite Mobile Systems. Piscataway: IEEE, 2008: 198-203.

(上接第2099页)