

DOI: 10.7652/xjtuxb201402014

一种采用空时网络编码的多向中继通信方案

李巍, 李国兵, 朱世华, 李洋

(西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安)

摘要: 针对多用户中继通信网络在单天线场景下多源信息交互效率较低的问题,提出了一种采用空时网络编码(STNC)的多向中继通信方案。由于 STNC 编码向量具备可识别条件,能够将多个用户的调制信号合并为一个高阶调制信号,且合并前后的信号一一对应,因此该方案可利用 STNC 编码向量和预均衡技术来区分 $N(N>3)$ 个用户的信息,能够保证用户在多周期传输方案中获得满分集增益。当系统结构对称时,该方案在系统总发射功率相等的情况下,可平均分配中继和用户之间的功率,使系统误符号率(SER)性能最优。此外,推导了该通信方案的平均吞吐量,指出其系统自由度是传统的单向中继(OWR)方案的 $N/(N-1)$ 倍。实验结果表明:该方案能够获得满分集增益,与传统的双向中继方案相比显著提高了系统在衰落信道中的误码性能;当 N 为 4 和 6 时,在高信噪比条件下,该方案的平均吞吐量相对 OWR 方案分别提高了 33% 和 20%。

关键词: 多向中继通信;空时网络编码;吞吐量

中图分类号: TN914.42 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2014)02-0080-06

A Novel Scheme for Multi-Way Relaying Using Space-Time Network Coding

LI Wei, LI Guobing, ZHU Shihua, LI Yang

(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Since the multiuser relay network in the single-antenna scenario has a low efficiency on full information exchange, a novel wireless multi-way relay communication scheme is proposed by using space time network coding (STNC). The STNC vectors have the following identifiability condition, that is, the modulated signal of multiple users can be combined into one high-order modulated signal via STNC vectors, and the combined signals and the original signals have the one-to-one correspondence. The proposed scheme makes full use of STNC vectors and pre-equalization technique to distinguish information from $N(N>3)$ users, and guarantees a full diversity gain in a multi-period transmission protocol. Moreover, when the system is symmetrical and the total transmission power is a constant, powers are equally allocated among the users and the relay that leads to the minimal symbol error ratio (SER). Furthermore, the achievable average throughput of the proposed scheme is analyzed, and it is shown that its degree of freedom is $N/(N-1)$ times larger than that of the conventional one-way relay(OWR) communication scheme. The SER experimental results show that the proposed scheme acquires full diversity gain and improves the SER performance in fading channels. The throughput simulation results and comparisons with the OWR scheme show that the proposed scheme improves the average throughput in high SNR by 33% and 20% when $N=4$ and $N=6$, respectively.

收稿日期: 2013-07-26。 作者简介: 李巍(1979—),男,博士生;朱世华(通信作者),男,教授,博士生导师。 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61102079,61102080);陕西省科学技术研究发展计划资助项目(2012K06-35)。

网络出版时间: 2013-12-10 网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1069.T.20131210.1437.003.html>

Keywords: multi-way relay communication; space time network coding; throughput

双向中继(two-way relay,TWR)通信和多向中继(multi-way relay,MWR)通信是无线协作网络的一个重要研究方向,它们分别可以实现 2 个或多个节点(相互之间没有直达无线链路)同时利用一个中继节点进行信息交互。由于整个通信过程仅包含 2 个阶段——多向接入(multiple access,MAC)阶段和广播(broadcast,BC)阶段,因此相对传统的单向中继(one-way relay,OWR)通信网络,整个系统的信道容量较高。

TWR 通信最初起源于比特级网络编码^[1],2 个节点完成一次数据交互需要 3 个时隙。文献[2-4]提出了物理层网络编码,将网络编码原理引入到符号级操作,使得数据交互周期由 3 个时隙减少为 2 个时隙,提高了系统自由度和信道容量。

但是,无论如何改进 TWR 系统,它只能支持 2 个节点同时完成信息交互。因此,业界又提出了能够同时支持 3 个以上节点同时进行数据交互的 MWR 通信方案^[5-8]。文献[5]创造性地将 MIMO 干扰对齐技术应用于 MWR 通信,结合网络编码与 Beamforming 技术,可以实现多个用户两两之间同时进行数据交互,极大提高了系统的最大传输速率,但是该方案需要所有节点必须配置多天线,否则无法实现信号子空间对齐。文献[6]针对 MWR 通信系统采用了 MIMO 空时编码技术实现了多用户间的信息交互,该方案要求中继的天线数量必须与用户数量相同,因此在用户数量较多的场景下中继系统的复杂度高。文献[7]重点研究了在 MWR 系统中基于 MMSE-SIC 算法的传输与检测方案,在该方案中继需要采用复杂的检测和预编码运算。文献[8]在移动蜂窝中继系统中采用了 MWR 通信方案与网络编码,极大提高了蜂窝中继通信系统的最大传输速率,但是该方案仅考虑了 MAC 阶段的传输与检测方案,没有涉及到 BC 阶段。目前已有的 MWR 通信方案仅适用于多天线场景,要求中继或用户必须配置多根天线,同时中继需要进行复杂的预编码处理。另外现有方案中所采用的网络编码技术仅局限于 2 个节点,无法扩展到 3 个以上节点。

针对上述问题,本文提出了一种单天线场景下的采用放大转发空时网络编码(amplify-and-forward space time network coding, AF-STNC)协议的 MWR 通信方案。该方案充分利用 STNC 编码向量^[9-10]的可识别条件与预均衡技术来区分多个用

户的信息,中继采用 AF 协议,实现了多个单天线用户同时利用一个单天线中继进行信息交互。同时,采用多周期传输方案实现了满分集增益,提高了系统在衰落信道中的性能。

1 系统模型与传输协议

单天线场景中的 MWR 通信系统模型与传输协议如图 1 所示。 N 个用户($u_1, u_2, \dots, u_N$)之间没有直达的无线链路,它们通过一个中继节点 R 同时进行信息交互,每个用户可以获得其他所有用户的信息。所有用户和 R 都只配置一根天线。整个传输过程包含 $I(I=N-1)$ 个传输周期,每个传输周期包括 MAC 阶段和 BC 阶段。在所有传输周期中每个用户发送的信息保持不变,每个传输周期采用相互正交的 STNC 编码向量。假设无线信道是准静态、平坦衰落,在一个传输周期内信道系数保持不变,在不同传输周期内信道系数相互独立。

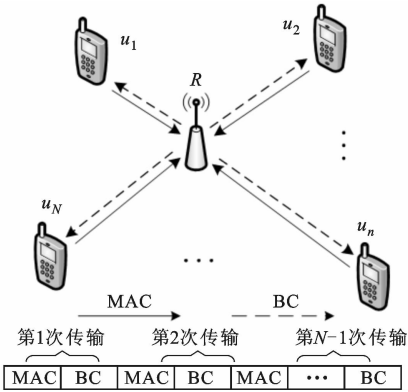


图 1 单天线场景的 MWR 通信系统模型与传输协议

首先,以第 i 个传输周期为例分析信号输入输出关系。在 MAC 阶段,假设信道系数可以提前通过信道估计获知,因此所有用户均可采用预均衡方法消除自身与 R 之间的衰落信道的影响。用户 $n(u_n)$ 向中继发送的符号表示为用户自身的信息符号与 STNC 编码向量^[9-10]中第 n 个分量的乘积,因此 R 接收到的混叠信号表示为

$$y_{ur}^{(i)} = P_u^{1/2} \sum_{n=1}^N \theta_{in} s_n + n_r^{(i)} = P_u^{1/2} \boldsymbol{\theta}_i^T \mathbf{s} + n_r^{(i)} \quad (1)$$

式中: P_u 为用户的发射功率; $\mathbf{s} = [s_1, s_2, \dots, s_N]^T$ 为由 N 个用户发送的信息符号组成的向量; $n_r^{(i)}$ 为加性高斯白噪声,服从复高斯分布 $CN(0, N_0)$; $\boldsymbol{\theta}_i = [\theta_{i1}, \theta_{i2}, \dots, \theta_{iN}]^T$ 为第 i 个传输周期所使用的 ST-

NC 编码向量, $\theta_i^H \theta_i = 1$ 且 θ_i 满足可识别条件^[9-10]: $|\theta_i^T(x - \bar{x})| \neq 0, \forall i \in [1, I], \forall x, \bar{x} \in A_s^N$. 可识别条件指出: STNC 编码向量能够将多用户的调制信号合并为一个高阶调制信号, 并且合并前后的信号一一对应。

由于 R 接收到的混叠信号可以看作向量 s 与向量 θ_i 的内积, 因此当向量 s 确定时, 向量 θ_i 的可识别条件能够保证式(1)中第 1 项是唯一确定的。

在 BC 阶段, R 采用放大转发^[11] (amplify and forward, AF) 协议将接收到的混叠信号广播给所有用户。用户 $n(u_n)$ 接收到的信号表示为

$$y_{ru_n}^{(i)} = h_{ru_n}^{(i)} a y_{ur}^{(i)} + n_{u_n}^{(i)} = a P_u^{1/2} [\theta_i^T s_n] h_{ru_n}^{(i)} + a P_u^{1/2} [\theta_i^T s_{n0}] h_{ru_n}^{(i)} + a n_r^{(i)} h_{ru_n}^{(i)} + n_{u_n}^{(i)} \quad (2)$$

式中: $h_{ru_n}^{(i)}$ 为在第 i 次传输周期中 R 到 u_n 的信道衰落系数, 服从分布 $CN(0, \sigma_n^2)$, 其中方差 σ_n^2 为信道增益的均值, 用于衡量 R 与 u_n 之间的相对距离; $n_{u_n}^{(i)}$ 为在第 i 个传输周期中 u_n 的接收噪声, 服从分布 $CN(0, N_0)$; $s_{n0} = s - s_n$ 为 u_n 自身发送的信息符号; $s_n = [s_1, \dots, s_{n-1}, 0, s_{n+1}, \dots, s_N]^T$ 为 u_n 接收到的其他所有用户发送的信息符号; a 为中继放大系数, 根据 AF 协议

$$a = \frac{P_r^{1/2}}{(P_u + N_0)^{1/2}} = (\beta P_u)^{1/2} / (P_u + N_0)^{1/2} \quad (3)$$

式中: P_R 为中继发送功率; β 为中继功率增益因子。

在式(2)中, 第 1 项表示 u_n 需要获得的其他所有用户的信息, 第 2 项表示 u_n 的自干扰。由于信道系数和 STNC 编码向量均可提前获知, 因此 u_n 可以减去自干扰, 得到

$$\tilde{y}_{ru_n}^{(i)} = a P_u^{1/2} [\theta_i^T s_n] h_{ru_n}^{(i)} + \tilde{n}_{u_n}^{(i)} \quad (4)$$

式中: $\tilde{n}_{u_n}^{(i)} = a n_r^{(i)} h_{ru_n}^{(i)} + n_{u_n}^{(i)}$ 为等效噪声, 服从分布 $CN(0, (a^2 \sigma_n^2 + 1) N_0)$ 。

由于 STNC 向量 θ_i 满足可识别条件, 故 u_n 可以对其其他用户信息 s_n 进行相干解调。根据式(4), u_n 接收信号的平均信噪比可表示为

$$\bar{\gamma} = a^2 P_u (N - 1) \sigma_n^2 / [(a^2 \sigma_n^2 + 1) N_0 N] \quad (5)$$

为提高系统在衰落信道中的可靠性, 采用多周期传输方案以实现分集增益, 不同传输周期的 STNC 向量相互正交。在完成 I 个传输周期后, u_n 接收的信号序列表示为 $\tilde{y}_{ru_n}^{(i)} (1 \leq i \leq I)$ 。根据最大似然(ML)检测准则, u_n 可以获得其他所有用户的 $N - 1$ 个符号

$$\hat{s}_n = \arg \min_{s_n \in A_s^{(N-1)}} \sum_{i=1}^I |\tilde{y}_{ru_n}^{(i)} - a P_u^{1/2} [\theta_i^T s_n] h_{ru_n}^{(i)}|^2 \quad (6)$$

2 性能分析

2.1 成对错误概率与分集增益

u_n 的成对错误概率(pair-wise error probability, PEP)定义为: 将其他用户实际发送的符号向量 s_n 检测为 $\bar{s}_n (s_n \neq \bar{s}_n)$ 的概率。根据式(4)、式(6)和切比雪夫界, u_n 的条件 PEP 可以表示为

$$P_r(s_n \rightarrow \bar{s}_n | h_{ru_n}) = Q \left\{ \left(\sum_{i=1}^I |a P_u^{1/2} \theta_i^T \Delta s_n h_{ru_n}^{(i)}|^2 \right)^{1/2} / 2(N_0/2)^{1/2} \right\} \leq \prod_{i=1}^I \exp \left[-\frac{a^2 P_u}{4 N_0} |\theta_i^T \Delta s_n h_{ru_n}^{(i)}|^2 \right] \quad (7)$$

式中: $\Delta s_n = s_n - \bar{s}_n$, 表示检测到的符号向量与原始符号向量之差。

式(7)右边表达式中的 I 项均相互独立, 对信道系数求取均值得

$$P_r(s_n \rightarrow \bar{s}_n) \leq E_h \left\{ \prod_{i=1}^I \exp \left[-\frac{a^2 P_u}{4 N_0} |\theta_i^T \Delta s_n h_{ru_n}^{(i)}|^2 \right] \right\} = \prod_{i=1}^I \left[1 + \frac{a^2 P_u \sigma_n^2}{4 N_0} |\theta_i^T \Delta s_n|^2 \right]^{-1} \quad (8)$$

同时带入式(3)和式(5), 令 $\gamma_0 = \frac{P_u}{N_0}$, 当 STNC 编码向量满足可识别条件时, 得到平均 PEP

$$P_r(s_n \rightarrow \bar{s}_n) \leq \prod_{i=1}^I \left[\frac{(\beta \sigma_n^2 + 1) N \gamma_0 + N}{4(\gamma_0 + 1)(N - 1)} |\theta_i^T \Delta s_n|^2 \bar{\gamma} \right]^{-1} = \frac{[4(\gamma_0 + 1)(N - 1)]^I}{[(\beta \sigma_n^2 + 1) N \gamma_0 + N]^I} \bar{\gamma}^{-I} \quad (9)$$

用户 n 接收信号的分集增益定义为: $d = \min_{s_n, \bar{s}_n \neq s_n} \{ -\lim_{\bar{\gamma} \rightarrow \infty} [\ln P_r(s_n \rightarrow \bar{s}_n) / \ln \bar{\gamma}] \}$, 因此分集增益阶数为 $I(I = N - 1)$ 。所以, 在 MWR 通信系统中 STNC 的可识别条件也可称作满分集准则。

同时从式(9)看到, 中继 R 到 u_n 的相对距离越小, 信道增益越大, σ_n^2 越大, u_n 的误码性能越好。另外, 如果减小传输周期 I , 会相应提高系统的传输效率, 但同时会降低系统分集增益和误码性能。

2.2 对称系统的功率分配

式(3)中的中继功率增益因子 β 表示用户与 R 之间的功率配比。假设整个系统结构对称(即所有用户的信道方差 σ_n^2 均等于 1), 在系统总发射功率 P_T 保持不变的情况下优化设计 β , 使得用户接收信号的平均 SNR 最大化, 系统性能最优。该问题可建模表示为

$$\beta_{\text{opt}} = \arg \max_{\beta} \bar{\gamma},$$

$$\text{s. t. } (1 + \beta)P_u = P_T \quad (10)$$

将式(3)带入式(5),可得平均信噪比 $\bar{\gamma} = (N-1)P_T^2/[NN_0(P_T+N_0)(2+\beta+1/\beta)]$,该问题是凸优化问题,最优 β 值为 1。因此,当系统结构对称时,在系统用户数目和总发射功率不变的情况下,当 $\beta=1$ 时系统性能最优。该结论的物理含义如下:整个通信过程包含 MAC 阶段和 BC 阶段,系统性能由这 2 个阶段中性能最差阶段所决定;发射功率 P_u 和 P_r 分别直接影响 MAC 阶段和 BC 阶段的性能,当 2 个功率相等时,2 个阶段的性能相当,整个通信过程的性能最优;如果某个功率过小,那么对应阶段的性能会下降,整个通信过程的性能也会下降。

2.3 吞吐量

根据式(4)和香农公式, u_n 在第 i 个传输周期内的吞吐量表示为

$$C_n^{(i)}(P_u, N_0 | h_{ru_n}) = \frac{1}{2} \lg(1 + R_{\text{SN},n}^{(i)}) =$$

$$\frac{1}{2} \lg \left\{ 1 + \frac{a^2 |h_n^{(i)}|^2 P_u (N-1)}{(a^2 |h_n^{(i)}|^2 + 1) N_0 N} \right\} \quad (11)$$

式中: $1/2$ 表示每次传输包含 2 个阶段。由于整个传输过程包括 I 个独立的传输周期,因此 u_n 在整个传输过程的吞吐量表示为

$$C_n(P_u, N_0 | h_{ru_n}) = \sum_{i=1}^{N-1} C_n^{(i)}(P_u, N_0 | h_{ru_n}) / (N-1) \quad (12)$$

对式(12)中的信道系数求取均值,同时带入最优 β 值和 γ_0 ,得到 u_n 的平均吞吐量

$$C_n(\gamma_0) = \frac{1}{2} E_h \left\{ \lg \left[1 + \frac{\gamma_0^2 (N-1) |h_n|^2}{(\gamma_0 |h_n|^2 + \gamma_0 + 1) N} \right] \right\} \quad (13)$$

当 MWR 通信系统结构对称时,所有用户的信道分布相同,因此全系统的平均吞吐量为 $C(\gamma_0) = NC_n(\gamma_0)$ 。

系统自由度定义^[5]为: $\eta = \lim_{R_{\text{SN}} \rightarrow \infty} [C(R_{\text{SN}}) / \lg(R_{\text{SN}})]$,其中 $C(R_{\text{SN}})$ 表示系统容量。根据上述分析,MWR 系统的自由度为 $N/2$ 。

在传统基于 TDD 的单向中继(one-way relay, OWR)通信方案中,系统包含 N 个用户,每个用户需要 2 个时隙才能将信息通过中继发送给所有用户(在第 1 个时隙将信息发送给中继,在第 2 个时隙中继再将信息放大转发给其他所有用户),因此整个系统需要 $2N$ 个时隙才能完成所有用户的信息交互。在 OWR 通信方案的总发射功率与 MWR 方案相同

的前提下,根据 MWR 方案的上述分析方法,OWR 方案中单用户的平均吞吐量表示为

$$C_n^{\text{OWR}}(\gamma_0) = \frac{N-1}{2N} \times$$

$$E_h \left\{ \lg \left[1 + \frac{\gamma_0^2 (N-1) |h_n|^2 / N}{\gamma_0 |h_n|^2 + \gamma_0 + N / (N-1)} \right] \right\} \quad (14)$$

当系统结构对称时,OWR 全系统的平均吞吐量为 $C^{\text{OWR}}(\gamma_0) = NC_n^{\text{OWR}}(\gamma_0)$,系统自由度为 $(N-1)/2$ 。因此,本文提出的 MWR 通信方案的系统自由度是传统 OWR 方案的 $N/(N-1)$ 倍。

2.4 部分信道信息的影响

在实际的无线系统中,发射机很难获得完全信道信息。由于有限速率反馈、反馈时延等原因,发射机只能获得部分信道信息进行预处理。下面简要分析信道信息延时反馈对 MWR 通信方案中用户预均衡的影响。

u_n 到 R 的信道系数的真实值与延时反馈值之间的关系表示为^[12]

$$h_{u_n r}(t) = \rho_n h_{u_n r}(t - \tau_n) + e_n \quad (15)$$

式中: $h_{u_n r}(t)$ 表示 t 时刻 u_n 到 R 的信道系数的真实值; τ_n 表示时延; ρ_n 表示延时反馈值与真实值之间的相关系数; e_n 表示由延时反馈造成的信道误差,服从复高斯分布 $\text{CN}(0, 1 - \rho_n^2)$ 。根据 Clarke 时变信道模型, $\rho_n = J_0(2\pi f_n \tau_n)$,其中 f_n 表示多普勒频移, $J_0(\cdot)$ 表示第一类零阶 Bessel 函数。

考虑到信道延迟反馈,根据式(15),MAC 阶段用户采用预均衡后 R 接收到的混叠信号表示为

$$y_{ur}^{(i)} = \sum_{n=1}^N P_u^{1/2} \theta_m s_n (h_{u_n r}^{(i)}(\tau_n))^{-1} h_{u_n r}^{(i)} + n_r^{(i)} =$$

$$\sum_{n=1}^N P_u^{1/2} \theta_m \hat{s}_n + n_r^{(i)} \quad (16)$$

式中: $h_{u_n r}^{(i)}(\tau_n)$ 表示信道系数延迟 τ_n 时间的反馈值; $\hat{s}_n = s_n (\rho_n + (h_{u_n r}^{(i)}(\tau_n))^{-1} e_n)$ 表示用户 n 的等效发送符号。由此可见,考虑到信道延时反馈后用户发送的符号会产生随机误差,对检测结果造成影响。由于文章篇幅有限,信道信息延时反馈对系统性能的影响将在后续工作中详细分析。

3 仿真结果与分析

本文采用蒙特卡罗方法仿真计算系统的误符号率(symbol error ratio, SER)和平均吞吐量。仿真中 STNC 编码矩阵满足可识别条件,编码矩阵元素分别为^[9,13]: $N = 2^k$, $\theta_m = \exp[j\pi(4i-1)(n-1)/$

$(2n)]/N^{1/2}; N=3 \times 2^k, \theta_m = \exp[j\pi(6i-1)(n-1)/(3n)]/N^{1/2}; i=1, 2, \dots, I; n=1, 2, \dots, N$ 。假设仿真中加性高斯白噪声方差 $N_0=1$, 采用 QPSK 数字调制方式, 无线衰落信道采用瑞利信道模型。在没有特别说明的情况下, 中继功率增益因子 $\beta=1$, 并且所有用户信道方差 σ_n^2 均等于 1。仿真中 MWR 通信系统均采用本文提出的 MWR 通信方案。

图 2 比较了 TWR 与 MWR 通信系统的 SER 性能。传统 TWR 通信系统^[2-4] 包含 2 个用户和一个中继, 所有节点均配置单天线, 采用传统的模拟网络编码(analog network coding, ANC)协议, 其单用户和全系统的速率分别为 $1/2 \text{ bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$ 。本文提出的 MWR 通信方案的单用户和全系统的速率分别为 $1/2 \text{ bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$ 和 $N/2 \text{ bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$ 。2 个系统的单用户速率均为 $1/2 \text{ bit}/(\text{s} \cdot \text{Hz})$, 因此保证了比较的公平性。如图 2 所示, 本文提出的 MWR 通信方案的 SER 性能明显优于传统的 TWR 通信方案, 后者无法获得额外的分集增益, 而本文的 MWR 通信方案在 $N=4$ 和 $N=6$ 时分别可以获得 3 阶和 5 阶分集增益, 这验证了 2.1 节中理论分析的正确性。如果 TWR 系统也使用多周期传输方案来获得额外的分集增益, 那么其单用户传输速率会小于 MWR 系统。

另外, 如果将本方案中的传输周期 I 从 $N-1$ 降为 $N-2$, 当系统用户数目 $N=4$ 和 $N=6$ 时, 单用户的信道利用率分别由原来的 $1/2$ 提高到 $3/4$ 和 $5/8$, 但是分集增益分别由原来的 3 阶和 5 阶下降为 2 阶和 4 阶, 从图 2 可以看到误码性能下降明显。因此, 系统在高信噪比的条件下, 或对误码性能要求较低时, 可以适当降低传输周期 I , 增大传输速率。

图 3 反映了当用户数 $N=4$ 时用户与中继的相对距离对用户 SER 性能的影响, 其中使用用户信道方差 σ_n^2 衡量用户与中继的相对距离。如图 3 所示, 当 σ_n^2 越大时系统 SER 性能越好。这主要是因为相对距离越小, 信道增益的均值越大, σ_n^2 越大, 用户的 SER 性能越好。

图 4 描述了当用户数 $N=4$ 时中继功率增益因子对 MWR 通信系统 SER 性能的影响。仿真中选取了若干不同的 β 值, 可以看到当 $\beta=1$ 时系统 SER 性能最好, 与 2.2 节理论分析一致。

图 5 比较了 MWR 通信方案与传统基于 TDD 的 OWR 通信方案的平均吞吐量。为了公平比较, 2 种通信方案的总发射功率相等。如图 5 所示, 在 $N=4$ 和 $N=6$ 时, 本文提出的 MWR 通信方案的平

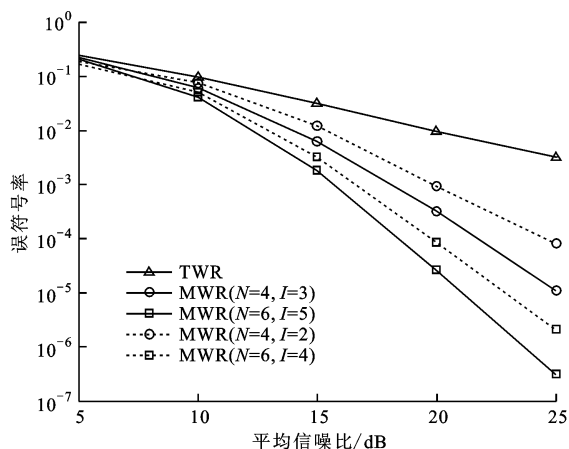


图 2 TWR 与 MWR 通信系统的 SER 性能比较

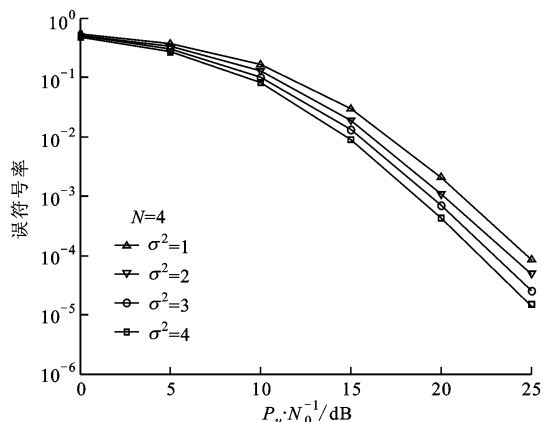


图 3 用户与中继的相对距离对系统 SER 性能影响

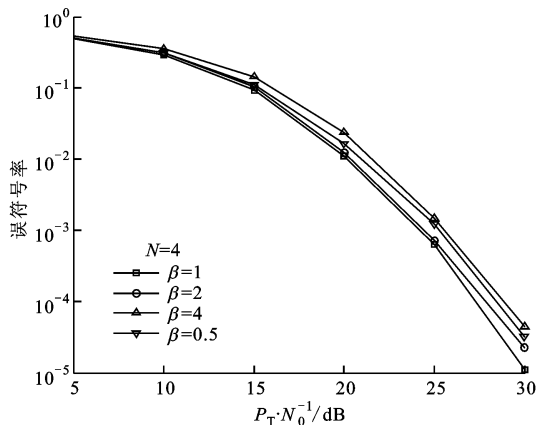


图 4 中继功率增益因子对系统 SER 性能影响

均吞吐量明显高于传统基于 TDD 的 OWR 通信方案。这主要是因为: 前者仅需 $2(N-1)$ 个时隙就可完成整个系统的信息交互, 而后者则需要 $2N$ 个时隙, 前者的系统自由度是后者的 $N/(N-1)$ 倍, 并且前者可以获得 $N-1$ 阶分集增益, 而后者没有分集增益。

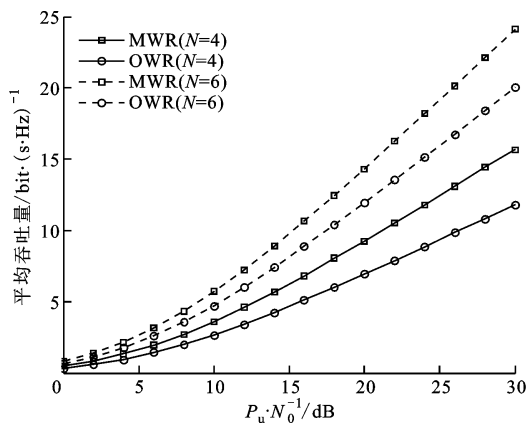


图 5 MWR 方案与传统 OWR 方案的平均吞吐量比较

4 结 论

本文提出了一种基于 AF-STNC 协议的适用于单天线场景的 MWR 通信方案。在该通信方案中,由于 STNC 编码向量满足可识别条件,同时采用了多周期传输方案,因此每个用户均可获得其他所有用户的信息,并且能够获得满分集增益。同时,当系统结构对称时优化设计中继和用户之间的功率分配因子,在总发射功率相等的情况下系统 SER 性能最优。另外,推导了该通信方案的平均吞吐量,指出其相对传统的 OWR 通信方案具有较高的系统自由度。考虑到实际无线系统中发射机很难获得完全信道信息进行信号预处理,因此建立了适用于部分信道信息的信号处理模型,为后续工作打下基础。仿真结果验证了理论分析的正确性,表明该通信方案具有较高的可靠性与吞吐量。

参考文献:

[1] WU Y, CHOU P A, KUNG S Y. Information exchange in wireless networks with network coding and physical-layer broadcast [C]//Proceedings of 39th Annual Conference on Information Sciences and Systems. Baltimore, MD, USA: The Johns Hopkins University Press, 2005: 2613-2616.

[2] OECHTERING T J, SCHNURR I B C, BOCHE H. Broadcast capacity region of two-phase bidirectional relaying [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2008, 54(1): 454-458.

[3] KATTI S, GOLLAKOTA S, KATABI D. Embracing wireless interference: analog network coding [C] // Proceedings of SIGCOMM. New York, USA: ACM, 2007: 397-408.

[4] 吕凌, 于宏毅. 适用于无线双向中继信道的机会协作网络编码 [J]. 北京邮电大学学报, 2008, 31(4): 117-121.

LV Ling, YU Hong-yi. Opportunistic cooperative network-coding for wireless two-way relay channel [J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2008, 31(4): 117-121.

[5] LEE N, LIM J B, CHUN J. Degrees of freedom of the MIMO Y channel: signal space alignment for network coding [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2010, 56(7): 3332-3342.

[6] AMAH A U T, KLEIN A. Non-regenerative multi-way relaying: space-time analog network coding and repetition [J]. IEEE Communication Letters, 2011, 15(12): 1362-1364.

[7] CAO Jianfei, ZHONG Zhangdu. Non-regenerative multi-way relaying: ordered MMSE-SIC receivers exploiting temporal diversity [C] // Proceedings of 2012 IEEE VTC Spring. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2012: 1-5.

[8] ZHOU Z, TEAV K K, VUCEIC B. Beamforming optimization and power allocation for MIMO asymmetric multi-way relay channels [J]. IEEE Communication Letters, 2012, 16(6): 820-823.

[9] LI G, CANO A, VILARDEBO J G, et al. High-throughput multi-source cooperation via complex field network coding [J]. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2011, 10(5): 1606-1617.

[10] GAO Zhenzhen, LAI Hung Quoc, LIU K J R. Differential space-time network coding for multi-source cooperative communications [J]. IEEE Transactions on Communication, 2011, 59(11): 3146-3157.

[11] 惠镱, 朱世华, 李国兵. 一种基于放大转发的中继选择策略 [J]. 西安交通大学学报, 2008, 42(4): 450-453.

HUI Hui, ZHU Shihua, LI Guobing. Relay selection scheme in cooperative networks with amplify and forward protocol [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2008, 42(4): 450-453.

[12] ZHOU Shengli, GIANNAKIS G B. Adaptive modulation for multiantenna transmissions with channel mean feedback [J]. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2004, 3(5): 1626-1636.

[13] XIN Y, WANG Z, GIANNAKIS G B. Space-time diversity systems based on linear constellation precoding [J]. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2003, 2(2): 294-309.

(编辑 刘杨)