

一种新的满符号传输率满分集度的分布式空时码

韩 夏¹, 刘 陈¹, 杨冬冬²

(1.南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210003;

2.燕山大学 信息科学与工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 结合分布式空时码的系统模型和 DBOAST 空时分组码的编码方法, 提出了一种新的分布式空时码——DBO 分布式空时码(DBO-DST), 可达到满发送分集度和满符号传输率。对该分布式空时码的编码和解码方法进行了仿真, 结果表明, DBO 分布式空时码比已有的线性分布式空时码的误码率低, 性能更优。

关键词: 协同通信; 分布式空时码; 传输率; 分集度

中图分类号: TN911

文献标识码: A

A new full-rate and full-diversity distributed space-time codes

HAN Xia¹, LIU Chen¹, YANG Dong Dong²

(1. Institute of Electronic Science and Technology, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2. Institute of Information Science and Technology, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: A new family of distributed space-time codes is constructed in this paper, called diagonal block orthogonal-distributed space-time codes which combined distributed space-time code model and diagonal block orthogonal algebraic space-time codes. It can transmit at a normalized rate of 1 symbol per channel use. It is proved that it can achieve the full transmit diversity. The performance merit of DBO-DST codes is confirmed by Monte Carlo simulations and compared with linear distributed space-time codes.

Key words: cooperative communication; distributed space-time code; transmit rate; diversity

协作通信系统能够在移动端只有单天线的情况下通过共享彼此天线形成的虚拟天线阵列, 以一种分布式协作的方式来实现多天线系统所具有的显著的分集增益, 这一特性引起学者们对协作通信系统的关注^[1]。目前, 基于放大转发(AF)的中继协作网络已经提出了几类分布式空时码方案。参考文献[2]提出了分布式空时码的中继转发模型, 并证明了分布式空时码可以达到多天线系统一样的分集度, 但是以牺牲传输率为代价的。参考文献[3]在此基础上改进了系统模型, 但是由于其分布式空时编码方法采用的是非正交线性空时编码方法, 因而误码率性能并不理想。

本文在分布式空时码的基础上, 集合 DBOAST 空时分组码^[4]的编码方法, 提出了一种新的分布式空时码, 且进行了性能的仿真, 并与目前提出的线性分布式空时码做了性能比较。

1 分布式空时码(DSTC)的系统模型

一个由 $R+2$ 个随机独立分布的单天线终端构成的 R 个并行两跳协作系统^[2], 包括 1 个发送端、1 个接收端和 R 个中继端, 如图 1 所示。 R 个中继称为发送端的协作端, 采用半双工的工作方式, 可发送和接收信号。在这个无线中继网络系统中采用 2 步协议: 第 1 步: 信源向

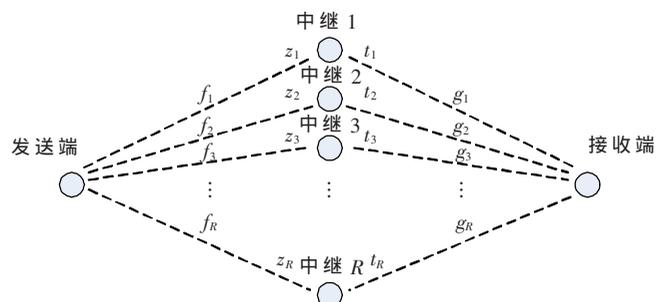


图 1 分布式空时码的系统模型

$$\sqrt{\frac{P_2}{P_1+N_0}} \sum_{i=1}^N (A_i N_i + B_i \bar{N}_i) \quad (4)$$

其中, $F=[f_1, f_2, \dots, f_N]^T$, A_i 和 B_i 为第 i 个中继的协作系数矩阵, P_2 为中继端发射每个符号的平均功率; 然后, 第 i 个中继将经过编码处理后得到的 DBOAST 空时码 $t_{i,1}, \dots, t_{i,R}$ 发送到接收端, 同时发送端向接收端发送接下来的 N 个功率归一化信号 $\sqrt{P_3} e_{21}, \dots, \sqrt{P_3} e_{2N}$, P_3 为发送端在 slot=2 内发射每个符号的平均功率。接收端在 Slot=2 所接收的信号表示为:

$$Y_2 = \sqrt{P_3} h_{s,d} e_2 + \sum_{i=1}^N g_i t_i + V \quad (5)$$

其中, g_i 表示中继到接收端的信道衰减, 将式(3)代入式(5), 可得:

$$Y_2 = \sqrt{P_3} h_{s,d} e_2 + \sqrt{\frac{P_1 P_2}{P_2 + N_0}} \sum_{i=1}^N f_i g_i (A_i e_1 + B_i \bar{e}_1) + W_2 \quad (6)$$

其中, $W_2 = \sum_{i=1}^N g_i (A_i N_i + B_i \bar{N}_i) + V$ 为 slot=2 的噪声向量。

将 2 个时间间隔内的接收信号表示为 1 帧的形式, 即

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix}, \text{从式(1)~(6)可以得出该系统的系统函数如式(7)所示:}$$

$$Y = SH + \tilde{N} \quad (7)$$

其中, $2N \times (N+1)$ 维矩阵

$$S = \begin{bmatrix} \sqrt{P_1} e_1 \\ \sqrt{P_3} e_2 \quad \sqrt{\frac{P_1 P_2}{P_2 + N_0}} (A_1 e_1 + B_1 \bar{e}_1) \quad \dots \quad \sqrt{\frac{P_1 P_2}{P_2 + N_0}} (A_N e_1 + B_N \bar{e}_1) \end{bmatrix}$$

即为分布式空时码。 $H=[h_{s,d} \quad f_1 g_1 \quad \dots \quad f_N g_N]^T$ 为信道矩阵, 其维数为 $N+1$, 噪声向量为 $\tilde{N}=[W_1 \quad V]^T$ 。

4 DBO 分布式空时码的性能分析

4.1 符号传输率

DBO 分布式空时码利用 $2N$ 个符号周期传输了 $2N$ 个符号, 因此, 它提供 1 符号/信道的符号传输率。

4.2 发送分集度

假设接收端完全知道信道状态信息, 当接收端采用 ML 准则进行相干检测时, 如果发送端在 1 帧内发送信号为 X , 而接收端误判为不同的信号向量 \hat{X} , 即发送的分布式空时码矩阵 S 在接收端误判为 \hat{S} , 则可定义误差矩阵 $S_\Delta = S - \hat{S}$ 。由参考文献[6]可得误对率为:

$$P(S \rightarrow \hat{S} | H) = P(\|Y - H\hat{S}\|^2 - \|Y - HS\|^2 < 0) = Q\left(\sqrt{\frac{\rho}{2}} \|HS_\Delta\|^2\right) \quad (8)$$

其中, $\rho = P/N_0$, $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt$ 。利用不等式:

$Q(x) \leq e^{-x^2/2}$ 可得:

$$P(S \rightarrow \hat{S} | H) \leq \exp\left(-\frac{\rho}{2} H^H S_\Delta^H S_\Delta H\right) \leq E_{\tilde{f}, \tilde{g}} \left[\exp\left(-\frac{\rho}{4} \tilde{g}^H \tilde{f}^H S_\Delta^H S_\Delta \tilde{f} \tilde{g}\right) \right]$$

其中, $\tilde{f} = \text{diag}(1 \quad f_1 \quad \dots \quad f_N)$, $\tilde{g} = [h_{s,d} \quad g_1 \quad \dots \quad g_M]^T$ 。由于 \tilde{g} 是独立同分布的复高斯随机变量, 将式(8)对 \tilde{g} 求平均, 得到:

$$P(S \rightarrow \hat{S}) \leq E_{\tilde{f}} \left[\frac{1}{\det\left(I_{N+1} + \frac{\rho}{4} \tilde{f}^H S_\Delta^H S_\Delta \tilde{f}\right)} \right] \times \left(1 + \frac{\rho}{4} \lambda_1\right)^{-1} E_{\tilde{f}} \prod_{j=2}^r \left(1 + \frac{\rho}{4} \lambda_j |f_j|^2\right)^{-1} = \left(1 + \frac{\rho}{4} \lambda_1\right)^{-1} \prod_{j=2}^r \lambda_j^{-1} \left[\int_0^\infty \left(1 + \frac{\rho}{4} x\right)^{-1} e^{-x} dx \right]^{r-1} \quad (9)$$

其中, r 和 λ_j 分别表示矩阵 $S_\Delta^H S_\Delta$ 的秩和特征值。由于 $|f_j|^2$,

$\forall j$ 服从独立同分布, 并且利用指数积分函数 $\int_0^\infty (1 + ax)^{-1} e^{-x} dx < \frac{2 \log(a)}{a} a \cdot 1$, 计算式(9)可得:

$$P(S \rightarrow \hat{S}) < \left(1 + \frac{\rho}{4} \lambda_1\right)^{-1} \left(\frac{2 \log(\rho/4)}{\rho/4}\right)^{r-1} \prod_{j=2}^r \lambda_j^{-1} \times 2^{3r-1} \rho^{-r(1 - \frac{\log \log \rho}{\log \rho})} \prod_{j=2}^r \lambda_j^{-1} \rho \rightarrow \infty \quad (10)$$

从式(10)可以得出 DBO 分布式空时码的分集度为 $r(1 - \log \log \rho / \log \rho)$ 。由于矩阵 $S_\Delta^H S_\Delta$ 为 $(N+1) \times (N+1)$ 维, 即 $r = N+1$, 并且当 ρ 的值很大时, 有 $\log \rho \geq \log \log \rho$, 即 $\log \log \rho / \log \rho \leq 1$, 从而得到 DBO 分布式空时码最大可达到的分集度为 $N+1$, 即满发送分集度。

5 DBO 分布式空时码的解码

将式(7)重新写为:

$$Y = \begin{bmatrix} \sqrt{P_1} h_{s,d} e_1 \\ \sqrt{P_3} h_{s,d} e_2 + \sqrt{\frac{P_1 P_2}{P_2 + N_0}} X_{DBOAST}(e_1) \cdot \tilde{H} \end{bmatrix} + \tilde{N} \quad (11)$$

其中, $\tilde{H} = [f_1 g_1 \quad \dots \quad f_N g_N]^T$, 如果将信道矩阵 $\tilde{H}(N)$ 的第 l 列记为 $\tilde{h}_l(N)$, 设 $h'_{2j-1} = [\tilde{h}_{2j-1}(2j-1), \tilde{h}_{2j}^*(2j)]^T$, $h'_{2j} = [\tilde{h}_{2j}(2j-1), -\tilde{h}_{2j-1}^*(2j)]^T$ ($1 \leq j \leq N/2$), $m_1 = \text{diag}(h'_{1,1}, h'_{1,3}, \dots, h'_{N-1,1})$, $m_2 = \text{diag}(h'_{2,2}, h'_{4,4}, \dots, h'_{N,2})$, $m = [m_1 \quad m_2]$, $Y = [y_1 \quad \dots \quad y_N \quad y_{N+1} \quad y_{N+2} \quad \dots \quad y_{2N-1} \quad y_{2N}]$, $\tilde{N}' = [\tilde{n}_1 \quad \dots \quad \tilde{n}_N \quad \tilde{n}_{N+1}$

$\tilde{n}_{N+2}^* \cdots \tilde{n}_{2N-1}^* \tilde{n}_{2N}^*$ 则可得到:

$$\tilde{\mathbf{Y}} = \begin{bmatrix} \sqrt{P_1} h_{s,d} \mathbf{I}_N \\ \sqrt{\frac{P_1 P_2}{P_2 + N_0}} m \sqrt{P_3} h_{s,d} \mathbf{I}_N \end{bmatrix} \Theta \mathbf{X} + \tilde{\mathbf{N}}' \quad (12)$$

$$\text{令 } \tilde{\mathbf{H}} = \begin{bmatrix} \sqrt{P_1} h_{s,d} \mathbf{I}_N \\ \sqrt{\frac{P_1 P_2}{P_2 + N_0}} m \sqrt{P_3} h_{s,d} \mathbf{I}_N \end{bmatrix} \Theta, \text{ 则式(12)等价于}$$

$$\begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{Y}}_{\text{Re}} \\ \tilde{\mathbf{Y}}_{\text{Im}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{H}}_{\text{Re}} & -\tilde{\mathbf{H}}_{\text{Im}} \\ \tilde{\mathbf{H}}_{\text{Im}} & \tilde{\mathbf{H}}_{\text{Re}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{X}_{\text{Re}} \\ \mathbf{X}_{\text{Im}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{N}}'_{\text{Re}} \\ \tilde{\mathbf{N}}'_{\text{Im}} \end{bmatrix}.$$

从等价的系统函数表

达式,接收信号可表示为输入信号的线性变换结果,在假设接收端完全知道信道信息的情况下,通过球解码算法可以用较低复杂度来实现最大似然法。

6 模拟结果

为验证提出的 DBO 分布式空时码的性能,本文以 4 根中继构成的分布式系统为例进行了仿真。图 3 和图 4 给出了当信息比特传输率 $N=4$ bit/s/Hz 时,分别采用 4QAM、16QAM 调制, DBO 分布式空时码与参考文献[3]中提出的线性分布式空时码的平均误比特率,其中满分集度旋转矩阵采用参考文献[3]中的 8×8 旋转矩阵。从图中可看出: DBO 分布式空时码和线性分布式空时码一样能达到满分集度,但在相同信噪比情况下, DBO 分布式空时码的平均误比特率小于线性的分布式空时码;为达到相同的平均误比特率, DBO 分布式空时码所需的信噪比较之线性分布式空时码平均约低 2 dB。

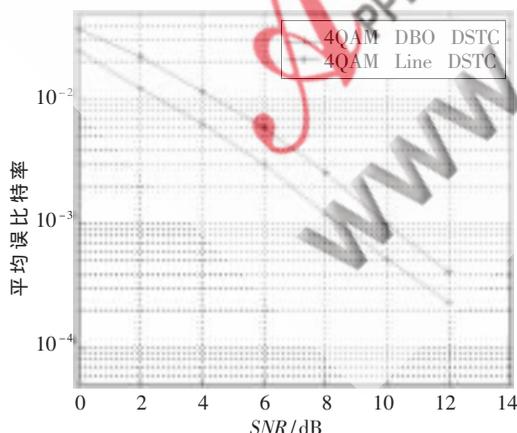


图 3 4QAM 误比特率

本文在分布式空时码的系统模型和 DBOAST 空时分组码的基础上,提出了 DBO 分布式空时码,该分布式空时码能以 1 符号/信道的符号传输率传输信息。从编码的角度, DBO 分布式空时码能达到满发送分集度,提

《微型机与应用》2010 年第 3 期

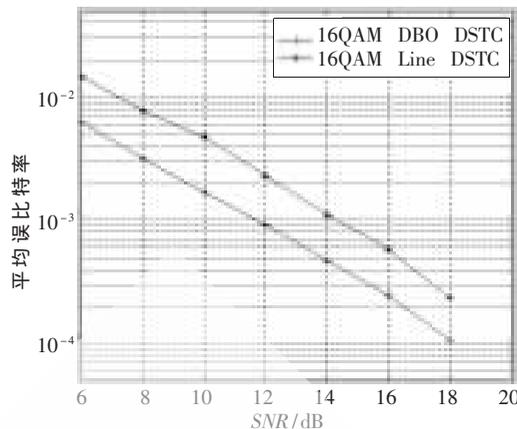


图 4 16QAM 误比特率

供比原有的分布式空时码更大的编码增益。通过蒙特卡洛仿真结果的比较,在误码率方面,优于已有的分布式线性空时码。

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 Trans. Information Theory, 2003,49 (10):2415-2525.
- [2] JING Y, HASSIBI B. Distributed space-time coding in wireless relay networks[J]. IEEE Trans. Wireless Communication, 2006(5):3524-3536.
- [3] ZHANG Wei, LETAIEF K B. Full-rate distributed space-time codes for cooperative communications [J]. IEEE Trans. Wireless Communication, 2008(7):2446-2461.
- [4] CHEN L, WU Zhen Yang, ZHAO Hua An. Diagonal block orthogonal algebraic space-time block codes [J]. IEICE Trans. Information and Systems, 2005,88(7):451-453.
- [5] HASSIBI B, HOCHWALD B. High-rate codes that are linear in space and time [J]. IEEE Trans. Information Theory, 2002,48(7):1804-1824.
- [6] BIGLIERI E, TARICCO G, TULINO A. Performance of space-time codes for a large number of antennas[J]. IEEE Trans. Information Theory, 2002,48(7):1794-1803.

(收稿日期:2009-09-09)

作者简介:

韩夏,女,1984 年生,硕士研究生,主要研究方向:通信信号处理。

刘陈,男,1965 年生,博士,教授,硕士生导师,主要研究方向:通信信号处理。

杨冬冬,男,1985 年生,硕士研究生,主要研究方向:运动目标检测。

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 61