

# 具有部分反馈的四天线准正交空时分组码及其性能分析

王妍 岳殿武

大连海事大学信息工程学院 大连 116026

**摘 要:** 在传统的准正交空时分组码研究的基础之上, 引入接收端到发射端的部分反馈, 只占用极其微小的带宽, 就能使 2 个以上发射天线系统实现全速率传输, 并且保持原来的低译码复杂度, 提高系统的性能。本文介绍了准正交及具有部分反馈的准正交空时分组码的编码原理, 并比较了准正交和具有部分反馈的准正交两种空时分组码的性能。

**关键词:** 正交空时分组码; 准正交空时分组码; 部分反馈

## Quasi-orthogonal Space-time Block Codes with Partial Feedback for Four Antennas and The Performance

Wang Yan Yue Dianwu

Information Engineering College, Dalian Maritime University, Dalian 116026

**Abstract:** On the basis of traditional quasi-orthogonal space-time block codes, partial feedback is introduced. With little loss of bandwidth, block codes of more than 2 antennas can improve the performance of the system and offer full diversity, while and low decoding complexity. This paper presents the coding principles of quasi-orthogonal space-time block codes and that with partial feedback. At the end of this paper, performances of the two code are compared.

**Key words:** Orthogonal Space-Time Block Codes; Quasi-orthogonal Space-Time Block Codes; Partial Feedback

以 Alamouti 的方案为基础<sup>[1]</sup>, 正交空时分组码的各种设计方法相继出现<sup>[2][3]</sup>, 并以其较低的译码复杂度等特点引起了广泛的关注。然而, 对任意复信号星座, 提供完全发射分集的全速率正交空时分组码只有在发射天线数为 2 的系统中才能实现<sup>[2]</sup>, 如果增加发射天线的数量, 必然导致数据速率的损失和译码复杂度的增加<sup>[3]</sup>。为了在保证低译码复杂度和性能损失较少的情况下提高数据速率, 人们又陆续提出了一些准正交的空时分组码<sup>[4][5]</sup>。

大多数的正交和准正交的空时分组码都是以发射端不知道信道信息为前提的, 如果发射端也可以获得信道状态信息 (CSI), 系统性能会得到相应的提高。发射端获得全部的信道信息需要大量的反馈和独立的反馈信道, 从而大大降低了系统的传输速率。在实际应用中, 为了节省带宽, 反馈信道可能只允许部分信道信息返回至发射端。在准正交空时分组码的基础之上, 我们引入部分反馈, 可以进一步提高系统的误码率性能。

本文详细地介绍了四天线准正交空时分组码系统引入部分反馈的方法，并将准正交空时分组码与引入部分反馈的准正交空时分组码进行了误码率性能的比较。

## 2 基于 Alamouti 方案的准正交空时分组码

我们已经知道，可以提供完全分集的全速率正交空时分组码只存在于 2 个发射天线的系统中，4 个发射天线系统的最大数据速率是 3/4。克服这一缺点的最基本的方法是在正交空时分组码中引入一些非正交因素，由此产生了一系列的准正交空时分组码<sup>[4][5]</sup>。

目前提出的准正交空时分组码大都是在 Alamouti 方案的基础上进行结构上改造得到的，例如[4]中 Jafarkhani 提出的编码方案<sup>[4]</sup>的编码矩阵为：

$$\mathbf{S}_J = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ -s_2^* & s_1^* & -s_4^* & s_3^* \\ -s_3^* & -s_4^* & s_1^* & s_2^* \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix}$$

文献[5]中提出的 EAC 方案的编码矩阵为：

$$\mathbf{S}_{EAC} = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2^* & -s_1^* & s_4^* & -s_3^* \\ s_3^* & s_4^* & -s_1^* & -s_2^* \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix}$$

准正交的编码矩阵形式多变，比较灵活。文献[8]中给出了四天线准正交空时分组码的通用设计方法。即使是编码矩阵不同，得到的性能也有一定的差异。

## 3 具有部分反馈的准正交空时分组码

我们在准正交空时分组码中引入部分反馈<sup>[6][7]</sup>，使发射端也知道部分信道信息，在损失很小的情况下，可以提高系统的性能，并使分集增益达到最优。

我们以 EAC<sup>[5]</sup>为例，介绍 4 个发射天线、单接收天线系统的部分反馈原理<sup>[6]</sup>。它的基本的发射码矩阵有两个：

$$\mathbf{S}_1^{(4)} = \begin{bmatrix} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ s_2^* & -s_1^* & s_4^* & -s_3^* \\ s_3^* & s_4^* & -s_1^* & -s_2^* \\ s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{S}_2^{(4)} = \begin{bmatrix} -s_1 & s_2 & s_3 & s_4 \\ -s_2^* & -s_1^* & s_4^* & -s_3^* \\ -s_3^* & s_4^* & -s_1^* & -s_2^* \\ -s_4 & -s_3 & -s_2 & s_1 \end{bmatrix}$$

接收端根据已知的信道信息，将反馈信息传送到发射端，由发射端根据反馈信息选择合适的码字矩阵  $\mathbf{S}_i^{(4)}$  进行传输。为简单起见，选择 1 比特的反馈参数  $b$ ，信道参数矢量为  $\mathbf{h} = [h_1, h_2, h_3, h_4]^T$ ，并且在一个码组周期  $T$  内保持不变。信道的传输模型可以定义为：

$$\hat{\mathbf{y}}_i = \mathbf{S}_i^{(4)} \mathbf{h} + \mathbf{n} \quad (1)$$

其中， $\hat{\mathbf{y}}_i$  为接收信号矢量， $\mathbf{S}_i^{(4)}$  的值根据反馈参数  $b$  来选择， $\mathbf{n}$  为  $4 \times 1$  的噪声矢量。(1) 式等效为：

$$\mathbf{y}_i = \mathbf{H}_w^{(4)} \mathbf{s} + \mathbf{n} \quad i=1,2 \quad (2)$$

其中， $\mathbf{s} = [s_1, s_2, s_3, s_4]^T$  为发射信号向量。 $\mathbf{H}_w^{(4)}$  为  $\mathbf{h}$  的元素及其复共轭变换构成的等效信道矩阵。若  $\mathbf{S}_1^{(4)} = \mathbf{S}_1^{(4)}$ ，

$$\text{则, } \mathbf{H}_{v1}^{(4)} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 & h_4 \\ -h_2^* & h_1^* & -h_4^* & h_3^* \\ -h_3^* & -h_4^* & h_1^* & h_2^* \\ h_4 & -h_3 & -h_2 & h_1 \end{bmatrix}, \text{反之, } \mathbf{H}_{v2}^{(4)} = \begin{bmatrix} -h_1 & h_2 & h_3 & h_4 \\ -h_2^* & -h_1^* & -h_4^* & h_3^* \\ -h_3^* & -h_4^* & -h_1^* & h_2^* \\ h_4 & -h_3 & -h_2 & -h_1 \end{bmatrix}。$$

$\mathbf{H}_{vi}^{(4)}$  的 Gramian 矩阵为

$$\mathbf{G}_i^{(4)} = \mathbf{H}_{vi}^{(4)*} \mathbf{H}_{vi}^{(4)} = \mathbf{H}_{vi}^{(4)} \mathbf{H}_{vi}^{(4)*} = h^2 \begin{bmatrix} \mathbf{I}_2 & X_i \mathbf{J}_2 \\ -X_i \mathbf{J}_2 & \mathbf{I}_2 \end{bmatrix}, \quad (i=1,2) \quad (3)$$

其中,  $\mathbf{I}_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ ,  $\mathbf{J}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$ ,  $h^2 = |h_1|^2 + |h_2|^2 + |h_3|^2 + |h_4|^2$ 。对于  $X_i$ , 若  $S_i^{(4)} = S_1^{(4)}$ , 则

$$X_1 = \frac{2\text{Re}(h_1 h_4^* - h_2 h_3^*)}{h^2}; \text{若 } S_i^{(4)} = S_2^{(4)}, \text{ 则 } X_2 = \frac{2\text{Re}(-h_1 h_4^* - h_2 h_3^*)}{h^2}。$$

为了获得完全分集和最优的误码率性能,  $\mathbf{G}_i^{(4)}$  应该接近于单位矩阵, 也就是说,  $|X_i|$  应该尽量小。因此, 求出  $\min(|X_1|, |X_2|)$ , 就可以选择合适的  $S_i^{(4)}$ 。当  $|X_i| = 0$  时, 可以获得完全分集。

## 4 性能分析

在性能仿真中, 为简单起见, 我们设发射天线数为 4, 接收天线数为 1, 在平坦瑞利衰落信道下, 采用 QPSK 调制, 即信道利用率为 2bit/s/Hz, 译码采用最大似然译码。准正交空时分组码和具有反馈的准正交空时分组码的误码率性能比较如图 1 所示。

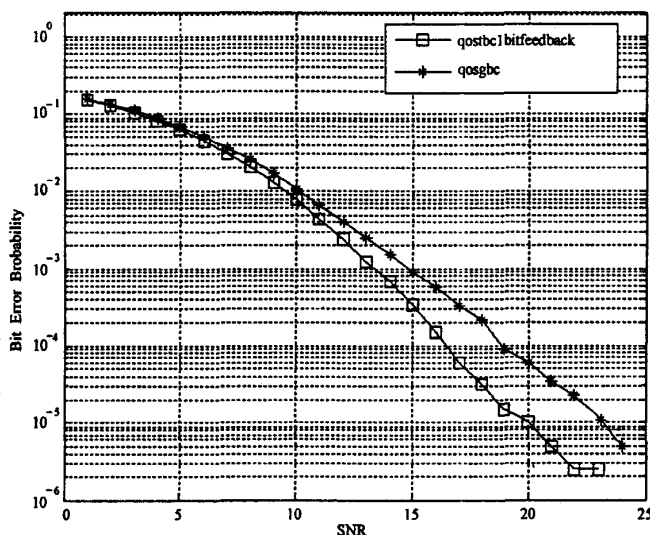


图 1 2bit/s/Hz, 4 天线准正交空时分组码及具有 1bit 反馈的准正交空时分组码误码率性能

从图中可以看出, 在低信噪比下, 曲线几乎重合, 随着信噪比的升高, 具有 1bit 反馈的准正交空时分组码性能大大提高。

## 5 结束语

本文介绍了具有 1 比特反馈的四天线准正交空时分组码的编码方法及其性能。在此基础上, 反馈比特数和发射天线数均可增加, 以进一步提高系统性能<sup>[6]</sup>。

发射端利用已知的信道信息对发射信号进行预处理,已经成为多天线系统中的研究热点,在频分双工(FDD)系统中,可以利用反向信道将信道状态信息反馈给发射端;在时分双工(TDD)系统中,则可以利用反向链路的信道信息估计值近似获得信道状态信息。与此相关的 MIMO 预编码技术、MIMO 的发射天线选择技术、MIMO 的自适应编码调制技术等,已成为多天线技术中的重要研究方向。而基于部分反馈的多天线技术主要有:如何有效地反馈信道状态信息,减少需要反馈的比特数目并保证其鲁棒性;发射端知道部分信道状态信息的 MIMO 系统性能分析;发射端知道部分信道状态信息的 MIMO 系统发射技术和接收技术的联合设计等,并且已经取得了一些初步研究成果。利用反馈信息来提高多天线系统的性能,已经成为一种不可逆转的趋势。

## 参考文献

- [1] 期刊文献: S. M. Alamouti. "A simple transmit diversity technique for wireless communications" IEEE J. Sel. Areas Comm., vol. 16, Oct. 1998, pp. 1451-1458
- [2] 期刊文献: Tarokh V, Seshadri N, Calderbank A R. Space-time block codes from orthogonal designs[J]. IEEE Trans, 1999,45(5):1456-1467
- [3] 期刊文献: Tarokh V, Seshadri N, Calderbank A R. Space Time Codes for High Data Rate Wireless Communications: Performance Criterion and Code Construction [J]. IEEE Trans. Inform. Theory, 1998, 44(2): 744~765
- [4] 期刊文献: H. Jafarkhani, "A quasi orthogonal space-time block code," IEEE Trans. Comm., vol.49, Jan. 2001, pp. 1~4
- [5] 期刊文献: C. F. Mecklenbrauker, M. Rupp "On Extended Alamouti Schemes for space-time coding," Proc. WPMC'02, Honolulu, Oct. 2002, pp. 115~119
- [6] 会议文献: B. Badic, M. Rupp, H. Weinrichter "Quasi-Orthogonal Space-time Block Codes for Data Transmission over Four and Eight Transmit Antennas with Very Low Feedback Rate", 5th Int. ITG Conf. on source and Channel Coding(SCC), 14~16, at Erlangen-Nunberg, Jan 2004
- [7] 会议文献: B. Badic, H. Weinrichter, M. Rupp, "Comparison of non-orthogonal space-time block codes using partial feedback in correlated channels", in Proc. Proceedings of the V IEEE Signal Processing Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications, Lisbon, July, 2004
- [8] 期刊文献: 赵琰, 何晨, 蒋铃鸽. 四天线准正交空时分组码的设计和性能分析, 电子学报, 第 12 期, 2005 年 12 月, 2250~2253

## 作者简介

王妍, 女, 1983 年生, 河北省清河县人, 大连海事大学硕士生, 主要研究方向为移动通信理论与技术。

岳殿武, 男, 1965 年生, 吉林四平人, 大连海事大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为无线通信技术。

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>