

## STBC 和 VBLAST 相结合的 MIMO 系统

王中鹏<sup>\*\*\*</sup> 邱忠媛<sup>\*\*\*</sup> 吴伟陵<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>(北京邮电大学信息工程学院 北京 100876)

<sup>\*\*</sup>(浙江科技学院计算机系 杭州 310012)

<sup>\*\*\*</sup>(辽宁工学院 数理科学系 锦州 121001)

**摘要:** STBC 编码是基于发端分集的传输方案, VBLAST 是基于空间复用的传输方案; 基于两种方案的 MIMO 系统, 在空间相关信道下系统的性能都会下降, 但前者的性能会明显好于后者; 该文提出一种折衷方案, 将发射天线阵列分组, 每组内采用 STBC 编码, 接收端采用 VBLAST 算法。仿真结果表明: 在空间相关信道下, 该方案的误码率性能明显优于通常的 VBLAST 接收机。

**关键词:** STBC, VBLAST, 多入多出(MIMO), 信道相关性

**中图分类号:** TN911.2, TN914

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-5896(2005)07-1098-03

## MIMO System Combining Space-Time Block Codes and VBLAST

Wang Zhong-peng<sup>\*\*\*</sup> Qiu Zhong-yuan<sup>\*\*\*</sup> Wu Wei-ling<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>(School of Information Engineering, Beijing Univ. of Posts and Telecomm., Beijing 100876, China)

<sup>\*\*</sup>(Department of Computer Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310012, China)

<sup>\*\*\*</sup>(Dept. of Mathematics & Physics, Liaoning Institute of Technology, Jinzhou 121001, China)

**Abstract** Space-Time Block Codes (STBC) is a scheme based on diversity-oriented transmission while VBLAST is another scheme based on spatial multiplexing; The performances of the two different MIMO systems are both degraded in correlated channels, however the performance of the former is better than the later. This paper proposes a trade-off scheme that the transmit antennas are divided into group meantime space-time block codes are applied to the different groups, VBLAST algorithm is used in the receiver. Simulation results show that performance of proposed scheme greatly gains over the VBLAST.

**Key words** STBC, VBLAST, MIMO, Channel correlation

### 1 引言

无线通信系统的设计要求提高频谱利用率和链路的可靠性。MIMO 系统是在发射端和接收端均采用多天线, 利用环境中的大量散射体在收发两端建立起多个相互独立的传输信道, 同时进行传输数据, 进而显著地提高系统的容量<sup>[1,2]</sup>, 因此利用 MIMO 系统进行信号传输是未来通信系统的关键技术。传统的 MIMO 系统性能分析方法大多数是在这种多个独立的信道下进行, 然而实际的信道往往是相关的, 而且是随环境变化的。本文的目的是研究系统在相关信道下如何提高系统的性能。STBC 的系统结构和 VBLAST 的系统结构是 MIMO 系统通常采用的两种方案。前者可以获得分集增益, 但数据吞吐量小; 后者可以获得空间复用增益, 但数据吞吐量大。本文提出将发射天线分组, 每一组内采用 STBC 编码,

接收端在采用 VBLAST 接收, 利用两者的优点提高系统的性能。

本文安排如下: 第 2 节给出了信道的模型, 第 3 节给出组内采用 STBC 码的系统方案, 第 4 节系统的仿真结果, 验证算法的有效性, 最后是结束语。

### 2 MIMO 信道模型

首先考虑点到点的平坦独立衰落 MIMO 信道下的信号模型。图 1 是 MIMO 的信道模型。如果信号的持续时间远大于信道的时延扩展, 则信道可认为是平坦的。信道发射端天线数是  $M$ , 接收端天线数是  $N$ 。发送的数据流通过编码器编成码矩阵  $S = [S(0) S(1) \cdots S(K-1)]$ ,  $S$  是  $M \times K$  矩阵,  $S(k)$  是  $M \times 1$  矢量,  $k = 0, 1, \cdots, K-1$ ,  $K$  是编码长度。设在第  $k$  符号间隔发射的符号矢量是  $S$ , 为了表述方便, 省略时间下标  $k$ , 接收的  $N \times 1$  矢量  $X$  为

$$X = HS + W \quad (1)$$

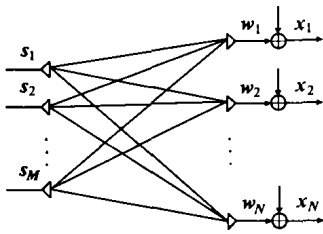


图1 MIMO信道模型

其中,  $W$  是复高斯白噪声, 满足  $\Xi\{WW^H\} = \delta_n^2 I_N$ ,  $\Xi$  是求均值,  $I_N$  表示单位阵。  $H$  是  $N \times M$  信道传输矩阵:

$$H = \begin{pmatrix} h_{11} & \cdots & h_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N1} & \cdots & h_{NM} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$h_{ij}$  表示从第  $j$  根发射天线到第  $i$  根接收天线的信道传输系数。

在实际的无线传输系统, 信道的相关系数通常由许多因素决定, 如取决于收发天线的物理参数、天线之间的距离、空间散射体的分布等, 因此, 在实际应用情况, 信道的相关系数往往是相关的。

设  $R_{Tx}$  是  $M \times M$  发射端相关矩阵,  $R_{Rx}$  是  $N \times N$  接收端相关矩阵, 信道模型可修改为<sup>[3]</sup>

$$H = R_{Rx}^{1/2} H_w R_{Tx}^{1/2} \quad (3)$$

其中

$$R_{Tx} = \begin{pmatrix} 1 & \rho_{1,1} & \cdots & \rho_{1,M} \\ \rho_{1,1} & 1 & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{M,1} & \cdots & \cdots & 1 \end{pmatrix}_{M \times M} \quad (4)$$

$\rho_{i,j}$  是第  $i$  和第  $j$  根天线之间的相关系数。同样, 接收端的  $N \times N$  相关矩阵  $R_{Rx}$  可同样简单地写出。  $H_w$  是独立同分布矩阵, 即  $H_w$  中的元素是独立同分布的。如果接收端相关, 发射端不相关, 则信道矩阵  $H$  的行之间是相关的; 如果接收端不相关, 发射端相关, 则信道矩阵  $H$  的列之间是相关的; 如果发射端和接收端都是相关的, 则信道  $H$  的统计特性就等效于  $R_{Tx}^{1/2} H_w R_{Rx}^{1/2}$  的统计特性。

当  $R_{Tx}$  和  $R_{Rx}$  都是单位阵时,  $H$  就是平坦独立的信道矩阵。可看出, 信道矩阵  $H$  的本征值由信道的相关矩阵确定。当信道的相关性高时, 信道矩阵  $H$  是病态的, 病态矩阵存在零空间或低的本征值(即低的信道增益), 因此导致系统性能的下降。

在发射端, 天线  $i$  和天线  $j$  间的相关系数为  $\{R_{Tx}\}_{i,j}$ , 其中  $i, j \in [1, M]$ , 相关系数为<sup>[4]</sup>

$$\{R_{Tx}\}_{i,j} = J_0\left(\frac{2\pi(i-j)d}{\lambda}\right) \quad (5)$$

其中  $J_0(z)$  是第一类零阶贝赛耳函数,  $d$  是相邻天线间的距离,  $\lambda$  是载波波长。

### 3 组内采用 STBC 编码的系统方案

作者在文献[5]中对 STBC 和 VBLAST 算法在空间相关信道下的性能作了对比分析, STBC 码在相关信道下的性能有很好的鲁棒性, 在高的信道相关性下, 系统的性能下降不大。而 VBLAST 算法受信道相关性的影响较大, 在相关系数大于 0.4 以后系统的误码性能急剧恶化, 但采用 VBLAST 算法的 MIMO 系统的数据吞吐量大于采用 STBC 结构的 MIMO 系统。本文结合 STBC 和 VBLAST 各自的优点、克服各自的缺点, 提出一种组内采用 STBC 码的 MIMO 体系结构。我们以四发四收为例, 收发两端采用线阵天线阵列。每两根是一组, 在组内采用 Alamouti 空时块码, 在接收端采用基于 ZF 或 MMSE 准则的 VBLAST 算法。

Alamouti 空时块码(STBC)结构中的正交性可以移到信道矩阵中<sup>[6]</sup>, 图2给出两发一收的空时编码的基带表示框图。进入空时编码器的符号被分成组, 每组两个符号, 在一给定的符号周期内, 每组内的两个符号  $[s_1 \ s_2]$  从两个天线同时发射。从天线1发射的符号是  $s_1$  而从天线2发射的信号是  $s_2$ , 在下一个符号周期, 信号  $-s_2^*$  从天线1发射而信号  $s_1^*$  从天线2发射。我们假设信道是平坦独立瑞利衰落, 设  $h_1$  和  $h_2$  分别表示为发射天线1和发射天线2到接收天线的信道脉冲响应, 在两个连续的符号间隔内是不变的。设  $x_1$  和  $x_2$  表示在两个连续符号间隔接收天线收到的信号。写成矩阵为

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \\ h_2^* & -h_1^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

式(6)也可写成如式(1)的矢量形式为  $X = \bar{H}S + W$ , 其中  $\bar{H} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 \\ h_2^* & -h_1^* \end{bmatrix}$ , 称为信道组合矩阵。在接收端译码为

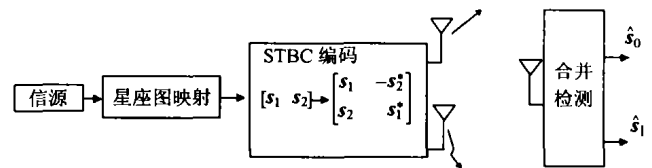


图2 STBC 编解码框图

$$S = \bar{H}^H X = (|h_1|^2 + |h_2|^2)S + W \quad (7)$$

将上式推广到四发四收 MIMO 系统中, 发射天线两两一组, 则有信道组合矩阵

$$\bar{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} \\ h_{12}^* & -h_{11}^* & h_{14} & -h_{13}^* \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} \\ h_{22}^* & -h_{21}^* & h_{24} & -h_{23}^* \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{34} \\ h_{32}^* & -h_{31}^* & h_{34} & -h_{33}^* \\ h_{41} & h_{42} & h_{43} & h_{44} \\ h_{42}^* & -h_{41}^* & h_{44} & -h_{43}^* \end{bmatrix} \quad (8)$$

利用组合矩阵得到新的信号模型为

$$X = \bar{H}S + W \quad (9)$$

接收端再按常规的基于 ZF-VBLAST 或 MMSE-VBLAST 处理, 下一节给出仿真结果。

#### 4 仿真结果

本文考虑四发四收的 MIMO 系统, 发射端信道相关, 信道矩阵为  $H = H_w R_{Tx}^{1/2}$ , 再写成信道组合矩阵  $\bar{H}$ , 在接收端采用基于 MMSE 准则的 VBLAST 算法。调制方式为 BPSK, 信道矩阵  $H_w$  取 1000 次, 每帧发射 100bit 数据。发射端的天线间距分别取: 发射载波的波长的 4 倍、1 倍、1/4, 对应发射天线间相关系数为 0.11, 0.22, 0.47。发射天线间的信道相关系数是取不同的天线间距再按式(5)取矩阵中的元素模的最大值得到的。

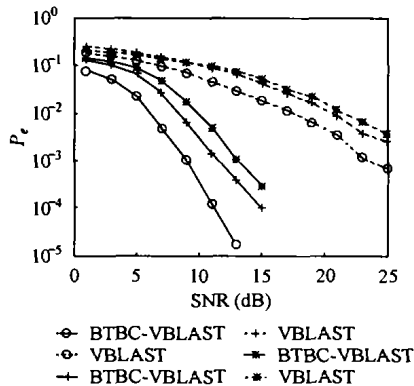


图3 误码率与信噪比的关系

图3是在不同的信道相关系数下(发射端天线间相关系数分别为 0.11, 0.22, 0.47)系统的误码率性能。图3中上边的3条曲线(从下往上)是 VBLAST 算法在相关系数为 0.11, 0.22, 0.47 时系统的误码率特性, 图3中下面的3条曲线(从下往上)是本文建议的方案(即组内采用 STBC 编码的 VBLAST 接收机)在相关系数为 0.11、0.22、0.47 时系统的误码率特性。仿真结果表明: 本文提出的接收机的性能明显好于 VBLAST 接收机, 误码率在  $10^{-3}$  数量级, VBLAST 接收机需要信噪比为 25dB 左右, 而建议的方案在 13dB 以内就可达到。当然, 这种性能的提高是以牺牲一定的数据吞吐量和接收机的复杂度的提高为代价的。从理论上讲, STBC 编码能够获得发射分集, 误码率性能要好于没有编码的 VBLAST 接收机。仿真结果也证明了这一点。

#### 5 结束语

本文提出的将发射天线分组, 在组内采用 STBC 编码, 接收端仍然采用 VBLAST 算法译码, 其误码率性能明显优于常规的 VBLAST 算法, 抗信道的相关性也明显提高。但这性能的提高是以降低数据吞吐量和增加算法复杂度为代价的。这种方案可以使系统性能和算法复杂度得到平衡。下一步的工作是研究信道估计对该系统的影响以及如何推广到宽带 MIMO 系统中。

#### 参考文献

- [1] Wolniansky P W, Foschini G J, Golden G D, *et al.* V-BLAST: an architecture for realizing very high data rates over the rich-scattering wireless channel. IEEE ISSSE, USA, IEEE press, 1998: 230 - 235.
- [2] Foschin G J. Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multiple antennas. *Bell Labs Technical Journal*, 1996, 1(2): 41 - 59.
- [3] Bölcskei H, Paulraj A. Performance of space-time in the presence of spatial fading correlation [C]. Asilomar Conf. on Signals, Systems, and Computers, Pacific Grove, CA, Oct. 2000, (invited paper), Vol.1, 687 - 693.
- [4] Haas H, Costa E, Filippi A, *et al.* The impact of channel correlation on space-time block codes for different modulation schemes. VTC2002-Fall. 2002 IEEE 56<sup>th</sup>, Vancouver, Canada, 2002, Vol.3.
- [5] Wang Zhongpeng, Wu Weiling. Performance of space-time block code based on spatial correlated MIMO channels FTC2003, Beijing, 2003: 417 - 421.
- [6] Choi Won-Joon, Cioffi J. Space-time block codes over frequency selective Rayleigh fading channels. VTC'99, IEEE VTS 50<sup>th</sup>, Vol.5, Amsterdam, the Nether lands, 1999: 2541 - 2545.

王中鹏: 男, 1966年生, 讲师, 博士生, 研究方向为 MIMO 无线通信系统、自适应均衡。

邱忠媛: 女, 1965年生, 高级实验师, 研究方向为无线电、人工智能

吴伟陵: 男, 1938年生, 教授, 博士生导师, 中国电子学会信息论分会主任委员, 主要研究方向为信息论、信息处理、移动通信等。