

基于传输信道状态信息的四发射天线空时分组码

Space-time Block Coding Based on Transmit Channel State Information for 4 Tx Antennas

(郑州解放军信息工程大学)周洪 张水莲 相蔚蔚

Zhou, Yong Zhang, Shuilian Xiang, Weiwei

摘要:空时分组码是一种可在端利衰落信道中使用多天线传输信息的新方法。该文研究了一种在发射端已知信道状态信息条件下的四个发射天线、全分集、全速率编码方案。此方案利用了传输重量,可得到正交空时编码,且在接收端使用最大比例组合得到各输出支路的极小距离判决译码,它能取得与最大似然译码同样的性能,且译码复杂度大为降低。

关键词:分集,多路径信道,空时码,无线通信

中图分类号: TN911.22

文献标识码: A

文章编号:1008-0570(2005)11-3-0146-03

技术创新

Abstract: Space-time block codes is a new paradigm for transmission over Rayleigh fading channels using multiple transmit antennas. In this paper a new rate 1 coding scheme which exploits Channel State Information available at the emitter with full diversity for 4 transmit antennas is proposed. This scheme is an orthogonal one thanks to transmit weights at the emitter, which gets Minimal Distance Detection decoding of each output according to Maximum Ratio Combining technique and achieves same performance as Maximum likelihood decoding, besides the complexity of decoding decreases largely.

Keywords: diversity , Multipath channels, Space-time codes, Wireless communications.

1 引言

空时编码(STC)是近年来移动通信领域出现的一种新的编码和信号处理技术,它在发射端和接收端同时使用多个天线进行信息的发射和接收,在不同天线发射信号之间利用了时域和空域相关,提高了多径衰落信道的通信质量和容量。

从降低译码复杂度出发,Alamouti 提出了两发射天线的发射分集方案,在此基础上,Tarokh 利用广义正交设计原理将其推广,提出了空时分组码的概念。空时分组码构造容易,译码简单,并且它有两个显著特性:一、应用编码矩阵列之间的正交性,接收端获得最佳信噪比,并可用最简单的最大似然解码算法进行译码;二、使用发射分集,可增加信道容量。因为上述特性,空时码已经被正式列入 WCDMA 提案中。复正交设计理论(发送信号为复信号的正交设计)表明,只有发射天线数为二,才能取得全速率、全分集的正交空时编码。发射天线数为三、四时,牺牲码元速率可以得

周洪: 硕士

基金支持: 国家自然科学基金项目, 通信信号-TURBO 处理; 项目编号: NSF60172029

到全分集、最大码速为 $3/4$ 的正交空时编码。为获得全速率的四发射天线空时编码,O.Tirkkonen 提出了 AB-BA 码,但它是牺牲正交性来获取全速率的,所以它的译码不再是简单的线性处理。本文在 ABBA 码的基础上,提出了在发射端利用信道状态信息(CSI),取得正交、全分集、全速率的四发射天线 CSI-OTD(CSI-based Orthogonal Transmit Diversity)编码。

2 空时分组码的正交编译码

2.1 空时正交编码

令 Ψ 代表大小为 2^b 的信号星座,在基带使用 Ψ 传输信息比特。在某一时刻,有 K_b 比特数据到达编码器,选择 K 个星座符号 s_1, s_2, \dots, s_K 替代信息比特,每个符号代表 b 比特,则复正交空时分组码可由 $T \times N$ 的列正交矩阵 S 给出

$$S = \begin{pmatrix} c_1^1 & \dots & c_1^t & \dots & c_1^N \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_T^1 & \dots & c_T^t & \dots & c_T^N \end{pmatrix}$$

S 的元素是符号 s_1, s_2, \dots, s_K 及其共轭的线性组合, T, N 分别代表 S 的一个码组的传输时隙数和发射天线数,在不同的时隙 $t=1, 2, \dots, T$, S 的第 t 行的 N 项分别从 N 个不同的天线同时发射。 S^* 是 S 的共轭转置, I 是 $N \times N$ 单位阵。由 S 满足正交性,有

$$S^* S = (|s_1|^2 + \dots + |s_K|^2) I \quad (1)$$

T 个时隙内传输 K 个信息符号,则 S 的编码速率定义为 $R=K/T$,且有 $R \leq 1$ 。因为 S 满足正交性,所以译码仅需要线性处理。

2.2 空时码传输模式

考虑基站 N 个发射天线,接收端 M 个接收天线的无线通信系统。假定信道为准静态平稳衰落传播信道(在一个码组传输时间内信道参数认为是常数,但在不同码组之间是变化的),从第 n 个发射天线到接收端第 m 个接收天线的信道参数为 $h_{n,m}$,它是服从复高斯分布的随机变量,它的实部和虚部的均值为 0,每维方差为 0.5。在时刻 t ,第 m 个天线的接收信号为 r_t^m :

$$r_t^m = \sum_{n=1}^N h_{n,m} c_t^n + n_t^m \quad (2)$$

噪声抽样 n_t^m 是服从零均值复高斯分布的随机变量,它的实部和虚部的方差是 $N/(2SNR)$ 。若每个发射

天线的发射符号能量归一化为 1, 则每个接收天线的接收信号平均能量为 N , 信噪比为 SNR 。

2.3 空时正交译码

假设接收端有完整的信道状态信息, 译码器使用最大似然译码, 计算判决矩阵如下:

$$\sum_{n=1}^M \left| r_t^m - \sum_{n=1}^N h_{n,m} c_t^n \right|^2 \quad (3)$$

把 $s_1, s_2, \dots, s_k \in \Psi$ 的所有可能值代入上式计算, 找到使判决式最小的 s_1, s_2, \dots, s_k 值, 这个值就是最大似然译码的结果。利用编码的正交性, 译码的复杂度可以进一步化简。

3 ABBA 码

四发射天线的 ABBA 码源于对两个 22Alamouti 码的简单置换。编码矩阵如下:

$$S = \begin{pmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 \\ -S_2^* & S_1^* & -S_4^* & S_3^* \\ S_3 & S_4 & S_1 & S_2 \\ -S_4^* & S_3^* & -S_2^* & S_1^* \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\text{定义: } A = \begin{pmatrix} S_1 & S_2 \\ -S_2^* & S_1^* \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} S_3 & S_4 \\ -S_4^* & S_3^* \end{pmatrix}$$

A, B 是两个 2×2 Alamouti 子码, 所以码矩阵能被写为: $S = \begin{pmatrix} A & B \\ B & A \end{pmatrix}$, 即称为 ABBA 码。

当接收器对接收到的 ABBA 编码信号进行匹配滤波时会产生干扰项, 所以它需要额外的译码步骤, 译码复杂度也大大提高了。

4 基于 CSI 的 CSI-OTD 编码

在 ABBA 码的基础上得到全速率编码, 构造利用在发射端已知信道状态信息, 正交、全速率、全分集的四个发射天线分组码—CSI-OTD。信道状态信息能通过设置反馈信道(如在 3GPP 标准)取得。为消除接收端匹配滤波产生的自干扰项和简化译码, 我们引入概念—传输重量(信道状态信息的组合)。如图一的编码方案, 编码矩阵 S 的符号从图一左边输入。

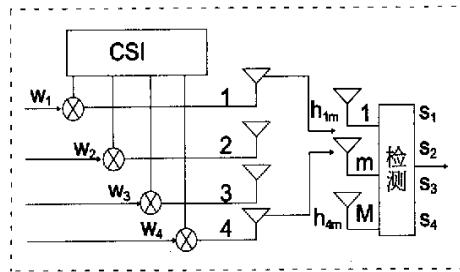


图 1

假定信道为准静态平稳衰落传播信道, 编码矩阵 S 如式(4)所示, 信道状态矩阵(包括传输重量 $w_i, 1 \leq i \leq 4$)如下:

$$H_m = \begin{pmatrix} h_{1m}w_1 & h_{2m}w_2 & h_{3m}w_3 & h_{4m}w_4 \\ h_{2m}w_1^* & -h_{1m}w_1^* & h_{4m}w_4^* & -h_{3m}w_3^* \\ h_{3m}w_3 & h_{4m}w_4 & h_{1m}w_1 & h_{2m}w_2 \\ h_{4m}w_4^* & -h_{3m}w_3^* & h_{2m}w_2^* & -h_{1m}w_1^* \end{pmatrix}$$

则第 m 个接收天线连续四个时隙的接收信号可表示为 $y_m = [y_1, y_2, y_3, y_4]^T$, 且有如下关系式:

$$y_m = H_m S + n_m \quad (5)$$

这里 $n_m = [n_1, n_2, n_3, n_4]^T$ 代表从发射天线到接收天线信道的加性噪声。

对 y_m 进行匹配滤波操作将产生新的向量 z_m , 且有

$$z_m = H_m^H y_m = H_m^H H_m S + H_m^H n_m \quad (6)$$

H_m^H 为 H_m 的共轭转置。使用最大比率组合(MRC)技术对接收信号进行组合可得接收天线向量的 z_m 和 z :

$$z = \begin{pmatrix} \alpha & 0 & \beta & 0 \\ 0 & \alpha & 0 & \beta \\ \beta & 0 & \alpha & 0 \\ 0 & \beta & 0 & \alpha \end{pmatrix} S + \sum_{m=1}^M H_m^H n_m \quad (7)$$

这里

$$\alpha = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^4 |h_{im} w_i|^2$$

$$\beta = 2 \sum_{m=1}^M \Re\{h_{1m}^* h_{3m} w_1^* w_3 + h_{2m}^* h_{4m} w_2^* w_4\}$$

如果选择传输重量使 $B=0$, 即可在 z 中消除自干扰项, 使得编码具有正交性。容易找到一些组合使得上式 B 为 0, 其中一组传输重量可为:

$$\begin{cases} w_1 = 1 \\ w_2 = 1 \\ w_3 = \exp(j[\text{angle}(\sum_m h_{1m} h_{3m}^*) + \pi/2]) \\ w_4 = \exp(j[\text{angle}(\sum_m h_{2m} h_{4m}^*) + \pi/2]) \end{cases} \quad (8)$$

这样就定义了一个新的 CSI-OTD 空时码。

上述的编码方案不但能取得全速率, 而且能利用编码正交性和最大似然译码大大简化译码计算量。设信息符号 s_i 取自 Q 点星座 γ , 如直接采用(3)式来寻找距离最小码字, 其计算量为 Q^k 个度量值, 计算复杂度很高, 利用正交性对其进行简化后其计算量为 $k \times Q$ 个度量值。对于四发射天线、一接收天线系统, 我们把式(4)的编码矩阵符号和式(8)的 w_i 代入(3)式可得:

$$\begin{aligned} & |r_1 - h_1 s_1 - h_2 s_2 - h_3 s_3 - h_4 s_4|^2 + \\ & |r_2 + h_1 s_2^* - h_2 s_1^* + h_3 s_4^* - h_4 s_3^*|^2 + \\ & |r_3 - h_1 s_3 - h_2 s_4 - h_3 s_1 - h_4 s_2|^2 + \\ & |r_4 + h_1 s_4^* - h_2 s_3^* + h_3 s_2^* - h_4 s_1^*|^2 \end{aligned} \quad (9)$$

把 $s_1, s_2, \dots, s_k \in \gamma$ 星座符号的所有可能取值代入上式, 可得使上述判决式最小的 s_1, s_2, s_3, s_4 值即是最大似然译码值。由于上面的判决计算量很大, 我们对上式进行简化, 结果可得四条独立的、分别只与发射信号 s_1, s_2, s_3, s_4 有关的输出支路, 也就是分别只对 s_1, s_2, s_3, s_4 的判决公式:

$$\left| r_1 h_1^* + r_3 w_3^* h_3^* + r_4^* w_4 h_4 + r_2^* h_2 - s_1 \right|^2 + \\ (-1 + |h_1|^2 + |h_2|^2 + |w_3 h_3|^2 + |w_3 h_4|^2) |s_1|^2, \quad (10)$$

$$\left| r_1 h_2^* + r_3 w_4^* h_4^* - r_2^* h_1 - r_4^* w_3 h_3 - s_2 \right|^2 + \\ (-1 + |h_1|^2 + |h_2|^2 + |w_3 h_3|^2 + |w_3 h_4|^2) |s_2|^2, \quad (11)$$

$$\left| r_1 w_3^* h_3^* + r_3 h_1^* + r_2^* w_4 h_4 + r_4^* h_2 - s_3 \right|^2 + \\ (-1 + |h_1|^2 + |h_2|^2 + |w_3 h_3|^2 + |w_3 h_4|^2) |s_3|^2, \quad (12)$$

$$\left| r_1 w_4^* h_4^* + r_3 h_2^* - r_2^* w_3 h_3 - r_4^* h_1 - s_4 \right|^2 + \\ (-1 + |h_1|^2 + |h_2|^2 + |w_3 h_3|^2 + |w_3 h_4|^2) |s_4|^2, \quad (13)$$

对每个判决式代入相应的 $s_i \in \gamma$ 星座符号 ($i=1, 2, 3, 4$) 的可能值, 使各判决式取得最小结果的 s_i 值即为最大似然译码值。

5 仿真结果

我们给出四个发射天线、一个接收天线的性能仿真图(图二)。假定传输信道为准静态平稳衰落信道, 每个发射天线的符号能量为 1, 采用 QPSK 调制, 信道参数 h 为服从均值 0, 每维方差 0.5 的复高斯分布的随机变量, 噪声为加性高斯白噪声。图中含 ABBA 码、CSI-OTD 码和 Rotate 空时码(星座相位旋转 $[0, 0, 32, 19] \pi/128$) 的仿真曲线。我们可以看到通过消除干扰项, CSI-OTD 码比 ABBA 码有更好的性能, 在误码性能达到 10^{-3} 时, 其信噪比要好 2db 而且复杂度大大降低, 它比 Rotate 码也要好 0.5db。

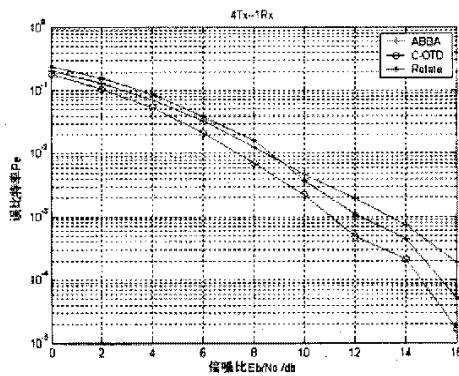


图 2 四发射天线,一接收天线的三种空时分组码性能仿真曲线

6 结论

本文提出了一种在发射端已知信道状态信息条

件下的四个发射天线、全分集、全速率编码方案。它基于 ABBA 空时码, 利用传输重量, 可得修正的正交空时编码, 从而获得更好的性能, 并且降低了译码复杂度。此方案在高速无线通信里有较好的应用前景。

参考文献

- [1] S.M. Alamouti. "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications" [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 16(8): October 1998, 1451-1458.
- [2] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A.R. Calderbank. "Space-Time Block Codes from Orthogonal Designs" [J]. IEEE Trans. on Information Theory, 45(5): July 1999, 1456-1467.
- [3] O. Tirkkonen, A. Boariu, and A. Hottinen. "Minimal Non-Orthogonality Rate 1 Space-Time Block Code for 3+Tx" [C]. In International Symposium on Spread Spectrum Techniques & Applications, September 2000, pages 429-432.
- [4] S. Rouquette, S. M'erigoult and K. Gosse, "Orthogonal full diversity space-time block coding based on transmit channel state information for 4 Tx antennas" [J], in Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC), New York City, NY, April-May 2002, vol 1, pp. 558-562.
- [5] L. A. Dalton and C. N. Georghiades, "A Four Transmit Antenna Orthogonal Space-Time Code with Full Diversity and Rate" [J]. in Proc. 40th Annual Allerton Conf. on Commun., Control, and Computing, Monticello, IL, Oct. 2002.

作者简介:周洪(1977-),男(汉族),江西宜春人,解放军信息工程大学通信工程系研究生,研究方向为移动通信关键技术。email:iwantfly_man@yahoo.com.cn;张水莲(1954-),女(汉族),江西新余人,解放军信息工程大学通信工程系教授,研究生,研究方向为移动通信关键技术。

(450002 河南郑州解放军信息工程大学信息工程学院)周洪 张水莲 相蔚蔚

(Department of Communication&Engineering ,Information Engineering University, zhengzhou 450002, china) Zhou,Yong Zhang, Shuilian Xiang, Weiwei

通信地址:

(450002 河南省郑州市 1001 信箱 825 号) 周 洪

(投稿日期:2005.5.9) (修稿日期:2005.5.17)

(接第 3 页)

Author Brief Introduction: He Wei, female, born in 1978, han nationality, Candidate of master of School of software, Tsinghua University. Majored in Software Engineering and knowledge management

(100084 北京清华大学 CIMS 中心) 赫巍 李秀 刘文煌

(100084 CIMS, Tsinghua University) He Wei ,Li Xiu Liu WenHuang

联系地址:

(100084 北京清华大学中央主楼 611) 赫巍

(投稿日期:2005.4.29) (修稿日期:2005.5.6)

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)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)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、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)，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>