

非正交完备空时编码 OFDM 系统性能研究*

刘伟,邵珠雷

(河南科技大学 电信工程学院,河南 洛阳 471003)

摘要:提出了适用于频率选择性衰落信道的 NPSTBC-OFDM 系统模型,并完成了计算机仿真。理论分析和 MATLAB 仿真结果表明在频率选择性衰落信道下,利用 NPSTBC-OFDM 系统实现高速率数据传输能够取得十分理想的误比特率性能,具有很强的可靠性。

关键词:空时码;非正交完备空时分组码;OFDM;MATLAB

中图分类号:TN911.22

文献标识码:A

Study on performance of NPSTBC-OFDM system

LIU Wei, SHAO Zhu Lei

(School of Electronic Information Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract:In this paper,a NPSTBC-OFDM model over frequency selective fading channel was proposed with support of computer simulations.The theoretic analysis and simulation results from MATLAB demonstrate that it is beneficial to use NPSTBC-OFDM system for a high data rate over frequency selective fading channel.

Key words:STBC;NPSTBC;OFDM;MATLAB

非正交完备空时分组码 NPSTBC(Non-orthogonal Perfect Space Time Block Codes)是基于循环可除代数构造的一种空时码^[1],其码字矩阵的非正交结构使其更加适用于高速率传输数据。并且 NPSTBC 的码字能够达到全分集,在数据传输过程中具有更高的可靠性。但在频率选择性衰落信道下,当 NPSTBC 的码元周期小于多径衰落的时延扩展时,会导致严重的码间干扰,因此这种技术仅适用于平坦衰落信道^[2]。而 OFDM 是一种高效的多载波调制技术,能将频率选择性多径衰落信道在频域内转变成平坦衰落信道,减小多径衰落的影响。将 NPSTBC 和 OFDM 两种技术相结合^[3],在频率选择性衰落信道下实现很高传输速率的同时又具有很强的可靠性。

1 非正交完备空时分组码原理

空时编码技术基于空间分集,采用多天线发射和多天线接收,将发射分集和接收分集技术结合在一起^[4]。该技术可以有效地补偿信道的衰减、增加系统的容量、抑制噪声和干扰、降低误码率,并获得很高的编码增益和分集增益。本文研究的重点是空时编码技术中的非正

交完备空时编码技术。

设 n_t 为发射天线数,一个方形的 $n_t \times n_t$ 非正交完备空时分组码应具有以下性能:

(1) 每个码字在 n_t 个时隙发送 n_t^2 个 QAM 或 HEX 信息符号,即达到全速率;

(2) 码字的最小行列式为非零,即

$$\min |\det(\mathbf{X}_i - \mathbf{X}_j)|^2 \neq 0 \quad \mathbf{X}_i \neq \mathbf{X}_j \in \mathbf{C} \quad (1)$$

其中 \mathbf{C} 代表码字集合,这一性质使码字能够获得最大的分集增益和编码增益;

(3) 对信息符号编码后的码字的发射能量与编码前信息符号的发射能量基本相同,即编码过程不增加信息符号的发射能量;

(4) 发送每个码字所用的能量是恒定不变的。

下面简要介绍用于两发两收天线系统的非正交完备空时分组码的构造方法。

2×2 非正交完备空时分组码是使用一个循环可除代数构建的^[5],循环可除代数表示为:

* 基金项目:河南省科技发展计划重点科技攻关项目(082102210064)

$$A=(Q(i,\sqrt{5})/Q(i),\sigma,i) \quad (2)$$

其中 $Q(i)$ 为有理数集合 Q 的域扩张, $Q(i,\sqrt{5})/Q(i)$ 为 $Q(i)$ 的域扩张, $\sigma:\sqrt{5} \rightarrow -\sqrt{5}$ 为一个映射运算。

设 $L=Q(i,\sqrt{5})/Q(i)$, $\theta=\frac{1+\sqrt{5}}{2}$, 则 L 的整数环表示为:

$$R_L=\{a+b\theta/a, b \in Q(i)\} \quad (3)$$

由上述循环可除代数构造的 2×2 非正交完备空时分组码的码字形式为:

$$C=\begin{bmatrix} a+b\theta & c+d\theta \\ i(c+d\sigma(\theta)) & a+b\sigma(\theta) \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中 a, b, c, d 分别代表不同的 QAM 或 HEX 信息符号。

为了提高码字的能量有效性, 向 QAM 或 HEX 信号星座中引入成形约束^[9]。在信号星座总能量不变的情况下使信号星座点间的距离得到优化。加入成形性能后得到 2×2 非正交完备空时分组码的码字形式为:

$$X=\frac{1}{\sqrt{5}} \begin{bmatrix} \alpha(a+b\theta) & \alpha(c+d\theta) \\ i\sigma(\alpha)(c+d\sigma(\theta)) & \sigma(\alpha)(a+b\sigma(\theta)) \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中 $\alpha=1+i-i\theta$ 。

2 非正交完备空时分组码 OFDM 系统方案

2 个发射天线 2 个接收天线的非正交完备空时分组码 OFDM 系统方案如图 1 所示。 $b(n)$ 表示经过 QAM 映射调制后的信号。系统首先对信号进行串并变换, 设 OFDM 调制的子载波数为 M , 则输入信号经过 $1:M$ 的串并变换之后变成有 M 个元素的向量序列 s_n 。非正交完备空时分组码每次取 4 个数据向量进行编码, 编码器输出所得码字矩阵为:

$$X=\frac{1}{\sqrt{5}} \begin{bmatrix} \alpha(s_n+s_{n+1}\theta) & \alpha(s_{n+2}+s_{n+3}\theta) \\ i\sigma(\alpha)(s_{n+2}+s_{n+3}\sigma(\theta)) & \sigma(\alpha)(s_n+s_{n+1}\sigma(\theta)) \end{bmatrix} \quad (6)$$

其中 $s_n, s_{n+1}, s_{n+2}, s_{n+3}$ 表示编码器在第 n 时刻连续取出的 4 个数据向量。

设 x_{ij} 表示码字矩阵 X 第 i 行第 j 列的元素, T_s 表示 OFDM 符号周期, 则天线 1 在 t 时刻传输 x_{11} , $t+T_s$ 时刻传输 x_{12} 。同理, 天线 2 在 t 时刻传输 x_{21} , $t+T_s$ 时刻传输 x_{22} 。OFDM 调制器对 x_{ij} 进行 IFFT 调制, 并加入循环前缀。

2 个发射天线发送的信号经过信道并与高斯白噪声叠加在一起进入每一个接收天线。接收端经过 OFDM 解调器对接收信号进行去除循环前缀、FFT 解调后, 接收信号表示为:

$$\begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{21} \\ h_{12} & h_{22} \end{pmatrix} \cdot X + \begin{pmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{pmatrix} \quad (7)$$

其中 h_{ij} 表示发射天线 i 与接收天线 j 之间的信道传输函数, y_{ij} 表示第 i 根接收天线在第 j 时刻收到的信号, n_{ij} 表示第 i 根接收天线在第 j 时刻收到的高斯白噪声。

非正交完备空时分组码对接收到的信号进行译码^[7]。译码器采用球形译码算法, 该算法的搜索半径为 d , 且 $d^2=2\alpha ML\sigma_v^2$, 其中 M 为接收天线数, L 为接收符号数, σ_v^2 为噪声方差, 选取 $\alpha \geq 1$ 确保所得到的范围内有格点^[8]。算法运行时, 首先将接收到的向量复数方程转化为实数方程, 其次定义没有噪声向量的格结构, 然后在已定义了球半径并以最大似然点为球形的球内列举格点^[8], 再通过最大似然算法遍历搜索与球心距离最近的点, 最后将判决结果还原成复数信号, 即得到判决信号 \tilde{s}_n 。

3 性能仿真与分析

基于上述系统模型进行计算机仿真。天线数设为两发两收, 信道矩阵由 6 径 COST207 典型城市信道模型生成, 且接收端已知信道的完整信息^[10]。OFDM 调制的子载波数为 256, 总带宽为 10 MHz。为防止符号间干扰, 每 OFDM 帧加入 40 bit 的循环前缀。为了进行比较, 在相同的条件下也对线性色散空时分组码 LDSTBC (Linear Dispersion Space Time Block Codes) 和正交空时分组码 OSTBC (Orthogonal Space Time Block Codes) 进行了仿真。其中线性色散空时分组码在接收端采用球形译码算法译码, 正交空时分组码在接收端采用最大似然译码算法译码。为了比较公平, 对所用仿真的码都保持相同的发射速率。

图 2 为系统采用低发射速率即 4 b/s/Hz 时, 3 种空时码的误比特率性能比较。由图中可以看出, 在信噪比为 20 dB 时, 正交空时分组码的性能略优于其余 2 种空时码。这主要是由于正交空时分组码的码字矩阵的正交结构使其能够在接收端采用简单且性能较好的最大似然译码算法的结果。

图 3 为系统采用较高发射速率即 8 b/s/Hz 时, 3 种空时码的误比特率性能比较。由图中可以看出, 非正交完备空时分组码的性能最优, 而正交空时分组码的性能很差。在信噪比为 20 dB 时, 非正交完备空时分组码与线性色散空时分组码相比误比特率降低了一个数量级。虽然这 2 种空时码的码字矩阵都具有非正交结构, 但非正交完备空时分组码的码字能够达到全分集, 而线性色散空时分组码不能达到全分集, 这使得线性色散空时分组码的抗衰落和抗干扰性

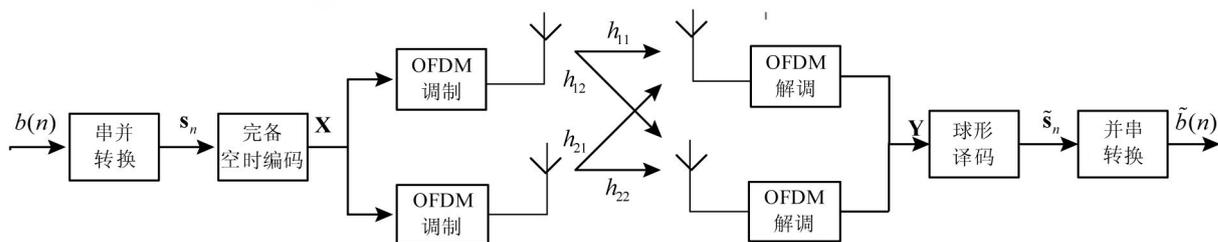


图 1 非正交完备空时分组码 OFDM 系统框图

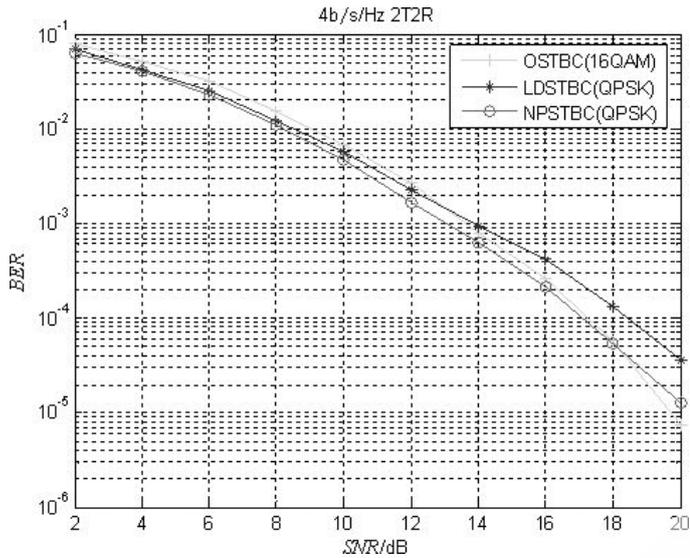


图2 低发射速率 STBC-OFDM 系统性能仿真

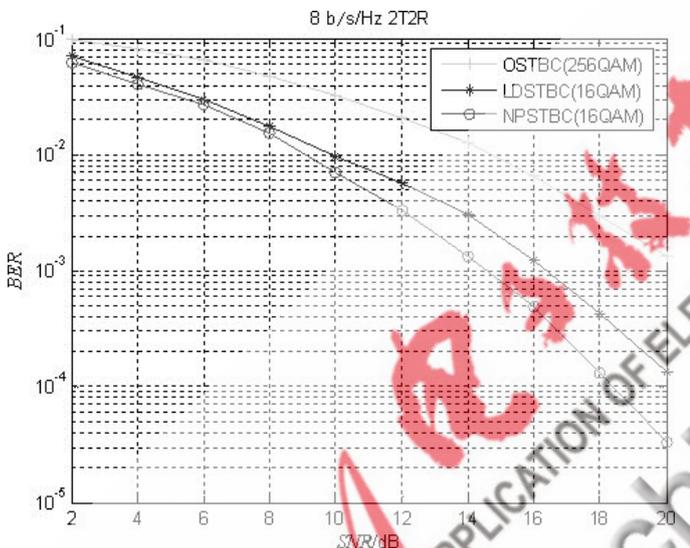


图3 高发射速率 STBC-OFDM 系统性能仿真

能较差,从而影响了其误比特率性能。正交空时分组码的码字也能达到全码集,但为了达到相同的发射速率 8 b/s/Hz ,正交空时分组码需要使用一个更大且效率更低的调制星座 256QAM ,这对其误比特率性能有很大的影响。

综上所述,对于高数据速率的 STBC-OFDM 系统,采用非正交完备空时分组码其性能较为理想,而对于低数据速

率系统采用正交空时分组码更为有效。

通过比较分析可知,非正交完备空时分组码的码字结构使其更适合于高速率传输数据,且具有较高的可靠性。而 OFDM 技术能够使传输的信号克服频率选择性衰落的影响,这使得经过空时编码后的信号能够在实际无线通信环境中传输。因此,非正交完备空时分组码与 OFDM 技术的结合具有很高的实用价值。

参考文献

- [1] BELFIORE J C. Cyclic division algebra as a tool for space time coding [M]. Now Publishers Inc, 2007.
- [2] JAFARKHANI H. Space time coding theory and practice [M]. Cambridge University Press, 2005.
- [3] OGGIER F R. Algebraic number theory and code design for rayleigh fading channels [M]. Now Publishers Inc, 2004.
- [4] STUDER G L. Broadband MIMO-OFDM wireless communications [J]. IEEE proceedings, 2004, 92(4): 105-108.
- [5] LU Ben, WANG Xiao Dong, LI Ye. Iterative receiver for space time block coded OFDM systems in dispersive fading channels [J]. IEEE Transactions on Wireless Communication, 2002, 1(2): 213-225.
- [6] ALAMOUTI S M. A simple transmitter diversity scheme for wireless communications [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16(8): 145-158.
- [7] BERTSEKAS D P. Dynamic programming and optimal control. Athena scientific [C], 2001.
- [8] COVER T M, THOMAS J A. Elements of information theory [M]. Wiley, 1991.
- [9] GANESAN G, STOICA P. Differential modulation using space-time block codes [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2002, 9(2): 57-60.

(收稿日期: 2009-07-30)

作者简介:

刘伟,男,1969年生,博士、副教授,主要研究方向:无线通信与信号处理;

邵珠雷,男,1983年生,硕士,主要研究方向:宽带无线通信。

(上接第42页)

- [4] 王建方. 超图的理论基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 1-3.
- [5] 孙雨耕, 张聚伟, 季浩, 等. 基于超图理论的无线传感器网络安全路由算法 [J]. 天津大学学报, 2008, 41(2): 175-182.
- [6] YOUNIS M, MUNSHI P, GUPTA G, et al. On efficient clustering of wireless sensor networks [C]. Second IEEE Workshop on Dependability and Security in Sensor Networks and Systems, 2006: 78-91.

(收稿日期: 2009-09-28)

《微型机与应用》2010年第2期

作者简介:

田文锋,男,1984年生,在读研究生,主要研究方向:无线传感器网络中的分簇算法;

刘陈,男,1963年生,教授,主要研究方向:无线通信中的信号处理技术。

欢迎网上投稿 www.pcachina.com 45