

# 空时分集技术对 COFDM 系统性能改善的研究

蒋磊, 赵清涛

(空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

**摘要:**对使用空时分组编码的空时发射分集接收技术进行了研究,提出了一种简单的利用训练符号进行信道估计的空时分集接收方案,并对提出的方案进行了仿真。理论与仿真结果表明,该方案使 COFDM 系统性能得到了改善。

**关键词:**空时发射分集(SSTD);正交频分复用(OFDM);空时分组编码(STBC)

**中图分类号:**TN914.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)05-0035-04

根据新的业务需求,未来无线局域网必须能够提供至少室内 156 Mbps<sup>[1-2]</sup>(主要是针对移动多媒体应用)和室外 30 Mbps 基于包的数据速率,然而实际传输信道中存在的多径衰落和可用频带资源的日益短缺都限制了传统的单载波传输技术的应用。由于 OFDM 技术相比单载波传输技术有诸多优点:较高的频谱利用率、较强的抗多径衰落和码间串扰(ISI)能力,被广泛地应用于无线局域网中<sup>[3]</sup>。为了进一步提高 OFDM 系统的传输性能,目前大都采用了信道编码技术,并结合时间和频率的交织,来实现较好的时间和频率分集。然而为了获得时间分集,对于多普勒频移较低的信道,要求时间交织器的相关延迟比较大,从而在此类型信道中应用时间分集技术显然不合适,本文提出了一种利用训练符号进行信道估计的空时分集方案,使 COFDM 系统性能得到了改善。

## 1 方案的关键技术

### 1.1 空时分组编码<sup>[4-5]</sup>(STBC)

令  $c_0, \dots, c_{k-1}$  为  $k$  个待发射的字符,它们在  $p$  个时隙  $t=1, 2, \dots, p$  内被发射,空时分组码由  $n \times p$  阶发射矩阵  $G$  定义,其中  $n$  为发射天线的个数(通常取  $n=k$ )。矩阵  $G$  的元素是字符变量  $c_0, \dots, c_{k-1}$  和它们的复共轭  $c_0^*, \dots, c_{k-1}^*$  的线性组合。空时分组编码矩阵  $C$  设计准则之一是要满足正交条件即:  $CC^H = \gamma I_k$ , 其中  $\gamma = |c_0|^2 + \dots + |c_{k-1}|^2$ ,  $I_k$  为  $k \times k$  阶单位矩阵。对于本文研究的情况(如图 1 所示),空时分组编码定义为

$$C_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} c_0 & c_1 \\ -c_1^* & c_0^* \end{bmatrix} \quad (1)$$

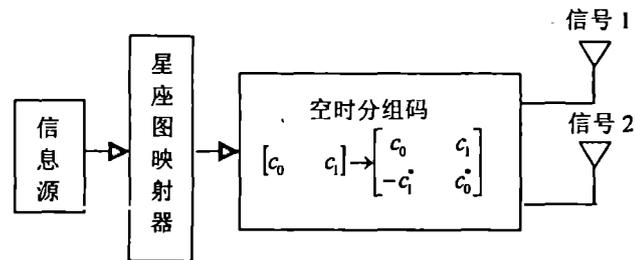


图1 使用空时分组编码的发射分集框图

### 1.2 使用 STBC 编码的空间分集接收技术(两个发射天线、一个接收天线)

技术原理如图 2 所示,信源  $c_0, c_1$  经 STBC 编码后得:

$$C_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} c_0 & -c_1 \\ c_1 & c_0^* \end{bmatrix} \quad (2)$$

收稿日期:2003-05-23

基金项目:军队科研基金资助项目

作者简介:蒋磊(1974-),男,江苏无锡人,博士生,讲师,主要从事军事通信技术研究。

分别在两个时隙从两个天线发射,设天线 1 到接收天线的传输函数为  $h_0 = \alpha_0 e^{j\theta_0}$ , 天线 2 到接收天线的传输函数为  $h_1 = \alpha_1 e^{j\theta_1}$ , 考虑信道衰落落在连续的两个码间是恒定的,可以得到:

$$\begin{aligned} h_0(t) &= h_0(T) = h_0(t) \\ h_1(t) &= h_1(T) = h_1(t) \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)中  $T$  为码周期,接收的信号可以写成:

$$\begin{aligned} r_0 &= r(t) = h_0 c_0 + h_1 c_1 + n_0 \\ r_1 &= r(t+T) = h_0 c_1^* + h_1 c_0^* + n_1 \end{aligned} \quad (4)$$

式(4)中  $r_0, r_1$  分别是在  $t$  和  $t+T$  时的接收信号,  $n_0$  和  $n_1$  分别是复随机变量代表干扰和噪声。接收方案采用一个天线对接收的两个信号进行合成估计(合成方案见图 2 所示):

$$\tilde{c}_0 = h_0^* r_0 + h_1 r_1^* \quad ; \quad \tilde{c}_1 = h_1^* r_0 + h_0 r_1^* \quad (5)$$

最后采用最大似然检测准则:

$$d^2(\tilde{c}_0, c_i) \leq d^2(\tilde{c}_1, c_k) \quad \forall i \neq k \quad (6)$$

式(6)中  $d^2(x, y) = (x - y)(x^* - y^*)$  是信号  $x$  与  $y$  的平方欧氏距离,从式(6)中可以给出传输信号的最佳估值为  $(\hat{c}_0, \hat{c}_1)^{[6]}$ 。

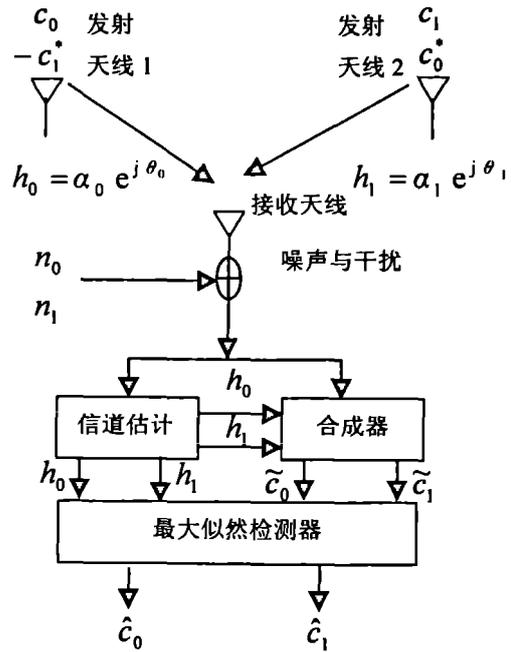


图2 使用 STBC 编码的空间分集接收框图 (两个发射天线,一个接收天线)

## 2 方案原理

上述使用 STBC 编码的空间分集接收方案,数学推导都是在传输信道已知的条件下给出的,但在实际应用环境中需要对传输信道进行估计,文献[7~8]提出了基于单天线的训练符号辅助调制(PSAM)技术,但结合空间分集的特点,本文提出的方案(如图3所示)是在上述关键技术的基础上,并对文献[9]提出的训练符号进行了改进,加入了在时域和频域上都正交的训练符号(如图4所示)来对多径信道进行估计。训练符号对于天线1和天线2分别是  $(S, S)$ 、 $(S, -S)$ ,其中  $S$  是实数,传输的数据在连续的训练符号之间发送。

首先信源  $(c_0, c_1)$  经 STBC 编码后得:

$$C_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} c_0 & c_1 \\ -c_1^* & c_0^* \end{bmatrix} \quad (7)$$

通过空间发射分集,接收的信号为

$$r_0 = r(t) = h_0 c_0 - h_1 c_1^* + n_0 \quad ; \quad r_1 = r(t+T) = h_0 c_1 + h_1 c_0^* + n_1 \quad (8)$$

接收的两个训练符号分别为

$$y_0 = S h_0 + S h_1 + n_2 \quad ; \quad y_1 = S h_0 - S h_1 + n_3 \quad (9)$$

式(8)、(9)中  $n_0, n_1, n_2, n_3$  分别是 AWGN 噪声。从式(9)所接收的训练符号可以获得信道的估计:

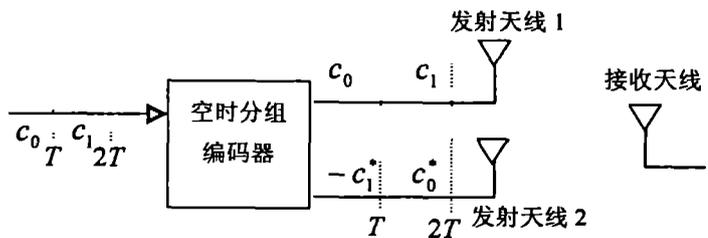


图3 STBC 编码发射分集框图

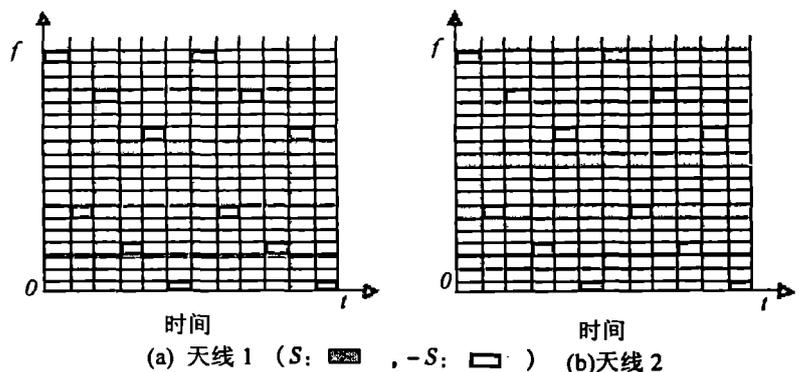


图4 天线训练符号图

$$\hat{h}_0 = \frac{y_0 + y_1}{2} ; \hat{h}_1 = \frac{y_0 - y_1}{2} \quad (10)$$

通过式(10)的信道估计量  $\hat{h}_0$  和  $\hat{h}_1$ , 可得到传输信号的估值:

$$\tilde{c}_0 = r_0 \hat{h}_0^* + r_1^* \hat{h}_1 ; \tilde{c}_1 = r_1 \hat{h}_0^* + r_1^* \hat{h}_1 \quad (11)$$

如果信道估值较好 ( $\hat{h}_0 = h_0, \hat{h}_1 = h_1$ ), 并考虑信道在连续的两个训练符号之间衰落恒定的情况下, 分集可获得:  $\hat{c}_0 = (|h_0|^2 + |h_1|^2)c_0 + n$ 。

### 3 仿真

为了对提出的空时分集方案进行评估, 本文对 ETSI 提出的 DVB<sup>[10]</sup> 系统进行了系统仿真。采用上述训练符号 ( $S = 4/3$ ), 保护间隔为  $T/32$  ( $T$  为符号周期),  $1/2$  的卷积编码, 调制方式分别采用 QPSK 和 64QAM, 采用表 1 所示的多径信道模型, 最大的多普勒频移为 30 Hz, 信道估计采用在频率方向的训练符号, 仿真结果如图 5 所示。从图中可以看出: 在 BER 为

$1 \times 10^{-4}$  时, 对于仿真的两种调制方式  $\frac{E_b}{N_0}$  都能获得 -5 dB 的增益。在考虑信道在两个连续训练符号之间衰落恒定的情况下, 本文提出了一种基于简单的信道估计的空时分集接收方案。当信道的多普勒频移较高时, 可采用频率方向的训练符号来对信道进行估计, 当信道弥散较大时, 可采用时间方向的训练符号来对信道进行估计。从仿真的结果可以看出 (见图 5), 该方案在 COFDM 系统的两种传统调制 (QPSK 和 QAM) 中都使系统的性能得到了改善。

表 1 多径信道模型参数表

抽头数	相关时间/ns	功率/ dB
1	0	0.0
2	310	-1.0
3	710	-9.0
4	1090	-10.0
5	1730	-15.0
6	2510	-20.0

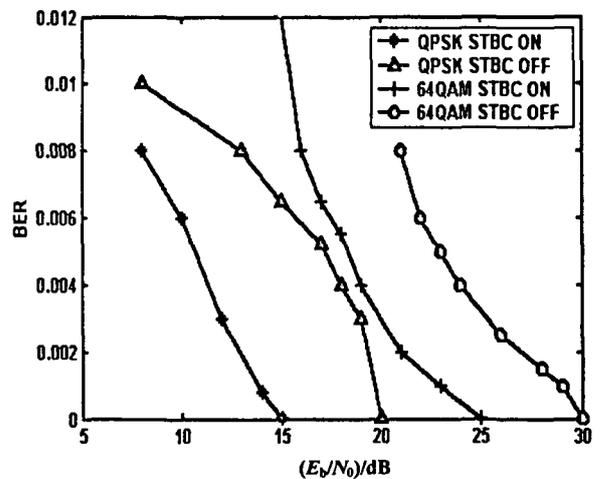


图 5 Viterbi 译码输出的误码率

#### 参考文献:

- [1] Hiroshi Harada, Yukigoshi Kamio. A Feasibility Study of the 16QAM - OFDM Transmission Scheme for Multimedia Mobile Access Communication Systems[J]. IEICE Trans Commun, 2001, 84(8): 1888 - 1892.
- [2] 王淑波, 毕彦彦. ADSL 技术及其应用前景[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2001, 2(3): 62 - 66.
- [3] 周德锁, 管桦. 第三代移动通信系统的无线传输技术[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2002, 3(2): 35 - 38.
- [4] 张贤达, 保铮. 通信信号处理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [5] Siavsh M, lamouti. A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications[J], IEEE Journal On Select Areas In Communications, 1998, 16(8): 2142 - 2147.
- [6] Tarokh V, Seshadri N, Calderbank A R. Space - Time Codes for High Data Rate Wireless Communication: Performance Criteria and Code Construction[J], IEEE Trans. Inform. Theory, 1998, 14(6): 856 - 864.
- [7] Cavers J K. An Analysis of Pilot Symbol Assisted Modulation for Rayleigh Fading Channels[J], IEEE Trans. Veh. Technol., 1991, 40(6): 686 - 693.
- [8] Sampei S, Sunaga T. Rayleigh Fading Compensation Method for 16QAM in Digital Land Mobile Radio Channels[A]. In Proc. IEEE Vehicular Technology Conf[C]. San Francisco, CA, 1989. 640 - 646.
- [9] Stirling - Gallacher R A, Wang Z. Improving Performance of Coherent Coded OFDM Systems Using Space Time Transmit Diversity[J]. IEE Electronics Letters, 2001, 37(7): 2651 - 2656.
- [10] ETSI EN300 744, V1. 2. 1. Digital Video Broadcasting (DVB)[S].

(编辑: 门向生)

## Study of Improving Performance of COFDM Using Space Time Transmit Diversity Technology

JIANG Lei, ZHAO Qing - tao

(The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

**Abstract:** The technology of space time transmit diversity using space time block code is investigated. The new STTD scheme is proposed, which is simple and adopts the pilot symbol to estimate channels. The simulation result shows that the new STTD scheme can be used to improve the performance of COFDM system.

**Key words:** space time transmit diversity (STTD); orthogonal frequency - division multiplexing (OFDM); space time block code (STBC)

(上接第 34 页)

本文提出了一种利用小波包构造 SCDMA 通信系统 PN 码的方法,通过使用具有一系列优良性质的小波包函数作为码片波形,可以使正交 PN 码的数量大大增加,同时能够有效地抑制多址干扰,提高通信系统的用户容量。理论分析和计算机仿真均证实了这点。应该说明,本文在利用小波包函数构造 PN 码方面所作的讨论是初步的,并未解决所有问题,特别是在最优小波基的选择方面还有许多工作要做,我们将进一步对相关问题进行研究。

### 参考文献:

- [1] Savo Glisic Branka Vucetic. Spread Spectrum CDMA Systems for Wireless Communications (Artech House Mobile Communications Series) [M]. London: Artech House, Inc., 1997.
- [2] Stephane Mallat. A Wavelet Tour of Signal Processing (Second Edition) [M]. London: Academic Press., Sep. 1999.
- [3] Daubechies I. The Wavelet Transform, Time - Frequency Localization and Signal Analysis [J]. IEEE Trans on Info Theory, 1990, 36 (9): 961 - 1005.
- [4] 杨福生. 小波变换的工程分析与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [5] 赵海燕, 应益容. 一类紧支小波的正则性的研究 [J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2000, 1(4): 59 - 62.

(编辑: 门向生)

## A Wavelet Packet Construction Method of PN Codes in SCDMA Communications

CHU Zhen - yong<sup>1</sup>, MA De - hua<sup>2</sup>, YING Xiao - fan<sup>1</sup>, YI Ke - chu<sup>1</sup>

(1. National Key Lab. of ISN, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071 China; 2. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

**Abstract:** This paper presents and discusses a wavelet packet construction method of PN codes, which takes a group of wavelet packets as the radices of PN codes to form orthogonal PN codes. The PN codes caused by this method can restrain the MAI of SCDMA communications and increase the capabilities of system effectively. Under the conditions of optimal radices, this orthogonal PN codes can also apply to asynchronism CDMA communication systems.

**Key words:** wavelet packet function; synchronal code division multiple access; pseudo noise code