

文章编号:1674-2869(2012)03-0056-04

涡轮编码迭代检测在多输入多输出-正交频分复用系统中的应用

程莉,许楠,徐春梅

(武汉工程大学电气信息学院,湖北 武汉 430074)

摘要:垂直分层空时码技术是多输入多输出-正交频分复用系统常采用的一种检测方法,但是其计算方法非常复杂.空频分组码是一种比较有效的技术,可以提高数据在多道无线信道传输的效率.本文提出一种将空频分组码与垂直分层空时码系统相结合的方法,并通过使用turbo码的迭代检测来改善信道估计性能.实验证明:该方法不仅可以简化系统的复杂度,还使得系统在快衰落信道中也具有较好的性能.

关键词:多输入多输出-正交频分复用系统;Turbo码;垂直分层空时码;空频分组码;迭代检测

中图分类号:TN911.5

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.03.012

0 引言

多输入多输出(Multiple-Input Multiple-Output,以下简称:MIMO)技术即多付天线技术是无线移动通信领域智能天线技术的重大突破,是一种能够有效提高衰落信道容量的新技术.

正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing,以下简称:OFDM)技术是一种多载波传输技术,常用于抗频率选择性衰落或抗窄带干扰.由于OFDM对多径时延具有较强的鲁棒性且频谱利用率较高,因而在无线时变信道中比单载波系统更能实现高速数据的传输^[1].但是,为了进一步增加系统容量、提高系统传输速率,单纯使用OFDM技术的宽带无线通信手段需要大量增加子载波的数量,而这种方法会大幅增加系统的复杂度,并大量占用系统带宽,势必很难适应带宽和功率有限的无线局域网应用环境^[2-3].OFDM技术可以在不增加带宽的情况下成倍提高通信系统的容量和频谱利用率,因此将MIMO技术与OFDM技术相结合可以实现在频率选择性衰落信道中提高频谱利用率,例如BLAST(Bell-Labs Layered Space Time)-OFDM.但是传统系统多采用空时编码技术(Space Time Block Code,以下简称:STBC),而STBC属于空间分集,所以一般要求发射和接收天线间距应适当拉开,确保各天线信号之间的独立性,利用多散射体所造成的多径来消除频率选择性衰落.而空频编码技术(Space Frequency

Block Code,以下简称:SFBC)不仅仅利用了空间分集,还应用了频率分集,因此比STBC性能更优越.所以该系统主要将SFBC与BLAST-OFDM系统相结合.

BLAST-OFDM系统在无散射区域或者高速的移动环境中,性能会受到很大的制约.另外,在相干的无线通信系统中,一般需要利用信道的状态信息对信号进行检测,所以信道的估计非常重要.Turbo码又叫并行级联卷积码,由C. Berro等人在1993年首次提出.Turbo码编码器译码过程类似涡轮工作,所以又形象的称为Turbo码.而对于Turbo编码V-BLAST MIMO OFDM系统,传统的结构是在通信系统的两端直接加上Turbo编码和Turbo译码,即对每一帧信号直接进行Turbo译码得到信息位.这种方法所获得的系统性能增益完全是由Turbo编译码带来的,而信道估计对系统的性能改善没有任何贡献,当信道变化很快时,这种方法的性能会很差^[4].因此,本文提出一个更为有效的Turbo-BLAST方法,即使是在无散射区也能实现多路传输和提高信道的容量;而且利用Turbo码运算法则实现循环纠错,以便在高速移动的环境中抵抗快速衰减.

1 空频 Turbo-BLAST 发射单元

图1是一个基于SFBC编码的M个发射天线、N个接收天线的MIMO-OFDM系统.基带信号首先进入扰码器,形成一个周期序列.然后经过

收稿日期:2012-01-14

作者简介:程莉(1979-),女,陕西安康人,讲师,硕士.研究方向:电磁波的传播、OFDM移动通信系统.

交织处理和 QPSK 调制,转换成信号星座集中的信号,再通过 SFBC 编码后经天线发射出去. 为了提高系统性能,降低系统误包率,经过扰码后的比特流,要进行前向纠错编码,这里采用一个递归型编码速率为 $R=1/2$ 的卷积编码器. 比特流经过卷积编码器后生成一个码组 $c_k (k=1,2,3,\dots,K, K$ 是所有码组的个数). 信号经过 QPSK 调制器后,第 n 个 OFDM 符号向量为

$$\mathbf{d}(n) = [d(n,0) \ d(n,1) \ \dots \ d(n,K-1)]^T,$$

式中 $d(n,k)$ 表示第 n 个 OFDM 符号的第 k 个子载波数据.

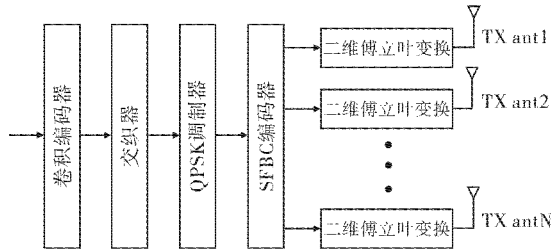


图1 基于 SFBC 技术的 MIMO-OFDM 发射机结构图

Fig.1 Transmitter structure diagram for MIMO-OFDM basing on SFBC

由于 SFBC 编码是利用 M 个天线进行发射的,频率在 i 和 $i+1$ 之间的编码符号可以表示为

$$\mathbf{S}_i = \begin{bmatrix} d_1 & d_2 & \dots & d_{M-1} & d_M \\ -d_2^* & d_1^* & \dots & -d_M^* & d_{M-1}^* \end{bmatrix}^T, \quad (1)$$

式(1)中 $(\cdot)^T$ 和 $(\cdot)^*$ 表示转置矩阵和共轭矩阵, $l=1,2,3,\dots,N_d$, 其中

$$N_d = (N_t/R + N_t)/N_m, \quad (2)$$

式(2)中 N_t 为发送信息比特的总数, R 为码速率, N_t 为上层比特数量, N_m 为调制信号的秩.

SFBC 码组经过离散傅立叶变换换成 OFDM 码组,作为不同的发射天线的信息数组. 在接收信号端,经过二维傅立叶变化后可以得到

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{X}_c + \mathbf{W}, \quad (3)$$

式(3)中 \mathbf{X}_c 是两倍的 SFBC 码, \mathbf{W} 是附加性高斯白噪声向量. 信道参数矩阵 \mathbf{H} 可以设为

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{1,1} & \dots & h_{1,M} \\ \vdots & & \vdots \\ h_{N,1} & \dots & h_{N,M} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

式(4)中 \mathbf{H}_{ij} 表示第 i 个接收天线、第 j 个发射天线之间的信道频率响应.

在 MIMO-OFDM 系统中,传统方法多使用 STBC 编码技术,但是保证 STBC 获得最大分集增益的假设是信道衰落为快平坦衰落信道 (Block Flat Fading Channel). 而实际上,发射机是无法预知信道状态信息的,在快衰落信道中,STBC 的性

能受限信道衰落速率. 在多发射天线数目时,这一限制尤为突出. 而 SFBC 在编码时一般要求,包含几个载波的一个码组在传输时信道的衰落频率响应保持近似相等,所以在快衰落信道中具有较好的性能. 另外,在实际应用的 OFDM 系统中,在参数选择时,其字符周期远大于衰落信道的最大相对时延,这也为 SFBC 编码获得最大分集增益提供了保证.

2 Turbo-BLAST 结构的接收机

基于 Turbo 码的迭代检测接收系统如图 2 所示,共包含了六个部分: OFDM 解调单元、BLAST 检测器、QPSK 解调器、反交织处理器、最大后验概率 (MAP) 解码器和信号再生器. 这里基于 Turbo 码,主要是利用 Turbo 码迭代的思想. 接收信号经过天线接收后,首先进入到 OFDM 解调器中,实现信号的快速傅立叶变换,将时域信息转换成频域信息;然后利用最大似然概率进行解码,解码后的信号在 MMSE 检测器中,根据信道的估计结果进行 MMSE 和软干扰抵消的迭代均衡算法,对频域信号进行估计. MMSE 输出的软信息,经过 QPSK 解调后再进行解交织,而后送入 MAP 解调器中进行信道译码. MAP 解调器采用对数似然概率,将前面的信息作为先验值送到外码译码器,从而估计发射信号的期望值. 而 SISO 外码译码器除了会输出译码外,还将产生一个附加信息,译码再经过交织和 QPSK 调制反馈到检测器,完成一次迭代译码. 如果不断重复上面的过程,就实现了多次迭代译码. 将译码器估计出的发射信号均值,再进行一次 QPSK 调制和交织的过程称做是信号重组.

在 BLAST 检测器中,信道再根据对每一个载波频率的估计,对这些频域信号进行检测,而且如果在每一层都采用迫零 (ZF) 技术线性回零和符号抵消,那么就会实现有规律的连续的抵消干扰. 用于 SFBC 编码的零矩阵可以写为

$$\mathbf{G}_c = (\mathbf{J}_c^H \mathbf{J}_c)^{-1} \mathbf{J}_c^H, \quad (5)$$

式(5)中 $(\cdot)^H$ 表示共轭,而

$$\mathbf{J}_c = \begin{bmatrix} h_{1,1}^c & h_{1,2}^c & \dots & h_{1,M-1}^c & h_{1,M}^c \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ h_{N,1}^c & h_{N,2}^c & \dots & h_{N,M-1}^c & h_{N,M}^c \\ h_{2,1}^{*c} & -h_{1,1}^{*c} & \dots & h_{1,M}^{*c} & -h_{1,M-1}^{*c} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ h_{N,2}^{*c} & -h_{N,1}^{*c} & \dots & h_{N,M}^{*c} & -h_{N,M-1}^{*c} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

输出值再经过 QPSK 解调器、反交织器和 MAP 解码器,进行反交织和解码. 为了能进行迭代

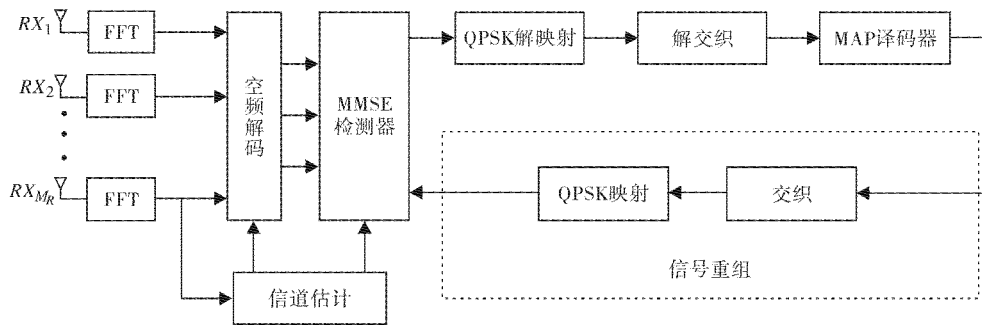


图 2 Turbo-BLAST 系统接收机结构图

Fig. 2 Receiver structure diagram for Turbo-BLAST systems

检测, MAP 检测器采用对数似然概率, 计算发射信号的期望值。然后再利用被估计的发射信号在信号再生器中重建发射码信号。因此, BLAST 检测器可以使用重建的信号去提高检测性能并不断的进行迭代。

总的来说该系统有以下特点:

(1) 在接收端利用迭代解码算法, 继承了 Turbo 码的优点, 同时也降低了发射端数据流的复杂程度。

(2) 该系统在对每根天线的发射数据流进行迭代计算过程中, 不需要进行伪逆, 因此降低了系统检测算法的复杂度。

(3) 一般来说实际信道都会存在多径效应和多普勒频移, 但是由于 Turbo-BLAST 系统是同时发送信号的, 即使存在快衰落, 每条路径上的信号也是不相关的, 这也降低了译码器输入信号的相关性, 从而获得了更大的分集增益, 提高了译码性能。

(4) 另外由于系统采用两个独立的译码器, 每个译码器对应一个分量编码器, 因此对接收信号中的信道编码约束量和噪声来说, 系统有独立的迭代解码过程。这样系统的纠错性能会随着接收端解码算法迭代次数的增加而逐渐增大。目前有很多参考文献研究关于在瑞利衰落信道下接收端进行迭代检测和解码的方法, 如 IDD 方法^[6-8]。

3 仿真结果

通过比较 Turbo-BLAST 技术与传统 BLAST 技术的包错误率来证明系统的有效性。试验中 BLAST 技术采用 2×2 天线阵列结构, Turbo-BLAST 技术采用 4×2 天线阵列结构。系统为一个 OFDM 系统, 有 64 个频率为 2 GHz 载波, 其中每 8 个为一个保护间隔。并且信道模型中有一个移动速度在 60 km/h 范围内所对应的延时。递归卷积编码器(RSC)的码速率为 1/2, 制约长度为 4。且假

设所估计的信道非常理想, 收发两端时钟同步。

图 3 是不同计算方式下的包错误率 (Packet error rate, 以下简称: PER) 与信噪比 (Signal to Noise Rate, 以下简称: SNR) 曲线图。四种不同曲线分别代表不同计算方式情况下的不同结果: 方框图形表示采用 BLAST 技术结构的曲线; 圆形代表采用 Turbo-BLAST 技术, 并且经过一次迭代 (iteration 1) 后的结果曲线; 上三角表示 Turbo-BLAST 技术, 并且经过两次迭代 (iteration 2) 后的结果曲线; 下三角表示 Turbo-BLAST 技术, 并且经过三次迭代 (iteration 3) 后的结果曲线。

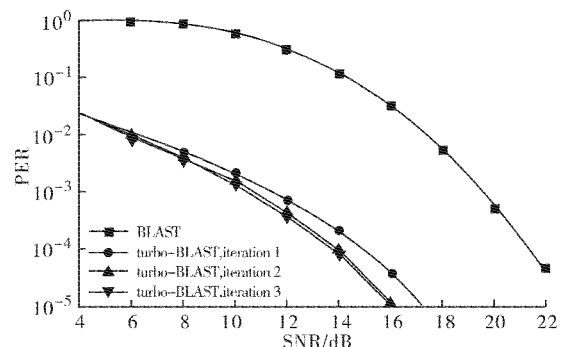


图 3 Turbo-BLAST 系统和 BLAST 系统包错误率的性能比较

Fig. 3 Packet error rate comparison for Turbo-BLAST system and BLAST system

从图 3 中可以看出, 在相同信噪比的情况下, 有四个发射天线的 Turbo-BLAST 方式比有两个发射天线的 BLAST 方式有 3dB 的改进。级联系统通过三次迭代来表现采用 Turbo 码迭代算法的优势: 当 PER 为 10^{-2} 时, Turbo-BLAST 系统比 BLAST 系统的信噪比提高了约 12 dB; 当 PER 为 10^{-4} 时, 提高了 7dB, 而且 2 多次迭代比 1 次迭代又有 1dB 的改善, 但是 3 次迭代与 2 次迭代没有太大的区别。因此, 将 Turbo 码与 BLAST 系统相结合, 在 MIMO-OFDM 系统中, 有明显的优点, 而且通过级联检测和解码也提高了接收信号的性能。

4 结 语

将 BLAST 检测器和采用 SFBC 技术的 MAP 解调器相结合的 Turbo-BLAST 迭代接收机,主要应用于 MIMO - OFDM 系统. 计算机仿真结果表明:在快速频率选择 MIMO 通路方面, Turbo-BLAST 迭代检测技术要比传统的 BLAST 技术更加有效;而且,在无散射 MIMO 环境中,这两者中的差异将更加明显.

参考文献:

- [1] Foschini G J, Gans M J. On limits of wireless communications in a fading environment when using multi - element antennas [J]. Wireless Personal Communications, 1998, 6(3): 311 - 335.
- [2] Piechocki R J, Fletcher P N, Nix A R, et al. Performance evaluation of BLAST - OFDM enhanced Hiberna using simulated measured channel data [J]. Electronics Letters, 2001, 37, (18): 1137 - 1139.
- [3] Foschini G J. Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multi - element antennas [J]. Bell Labs. Technical Journal, 1996, 1(2): 41 - 59.
- [4] 乔晓强,蔡跃明. Turbo 编码 V-BLAST MIMO-OFDM 系统中联合迭代判决反馈信道估计与检测[J]. 通信学报, 2006, 27(1): 103 - 108.
- [5] Kermoal J P, Schumacher L, Pedersen K I, et al. A stochastic MIMO radio channel model with experimental validation [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2002, 20(6): 1211 - 1226.
- [6] Li X, Huang H, Foschini G J, et al. Effects of iterative detection and decoding on the performance of BLAST [C]//GLOBECOM'00. IEEE Global Telecommunications Conference, November 27 - December 1, 2000, San Francisco. Piscataway, NJ: IEEE, 2000: 1062 - 1066.
- [7] Choi W J, Cheong K W, Cioffi J M. Iterative soft interference cancellation for multiple antenna system [C]//WCNC. 2000 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, September 23 - 28, 2000, Chicago, IL, USA. Piscataway, NJ: IEEE Operations Center, 2000: 304 - 309.
- [8] Agrawal D, Tarokh V, Naguib A, et al. Spacetime coded OFDM for high data - rate wireless communication over wide - band channels [C]// VTC 98. 48th Vehicular Technology Conference: pathway to a global wireless revolution, May 18 - 21, 1998, Ottawa, Canada. Piscataway, NJ: IEEE, 1998: 2232 - 2236.

Application of Turbo iterative detection in MIMO - OFDM system

CHENG Li, XU Nan, XU Chun-mei

(School of Electrical and Information Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Vertical bell laboratories layered space-time coding (V-BLAST) is an effective detection method for multiple-input multiple-output orthogonal frequency division multiplexing (MIMO-OFDM) systems, but has a large computational complexity. Space frequency block code (SFBC) is a new bandwidth efficient technique and can achieve high data rates over the wideband wireless channel. Therefore, we proposed combining SFBC technology with V-BLAST systems, and used the turbo iterative detection algorithm to improve the channel estimation performance. The simulation results show that the scheme not only reduces the complexity of the systems, but also increases the system performance in fast fading channel.

Key words: MIMO-OFDM system; Turbo code; BLAST; space frequency block code; iterative detection

本文编辑: 苗 变