

基于 LDPC 编码的交织分复用空时码系统

闫永瑞¹, 魏琴芳¹, 黎勇², 王琳^{1,3}

(1. 重庆邮电大学 编码技术研究所, 重庆 400065; 2. 重庆盖尔乐普有限公司, 重庆 400065; 3. 厦门大学 通信工程系, 厦门 361005)

摘要: 交织分复用空时码 (DM-ST) 技术是第四代移动通信的关键技术之一, 设计了一种基于 LDPC 编码的交织分复用空时码系统, 并将它与传统的基于卷积码编码的 DM-ST 系统在准静态的瑞利衰落信道下进行了比较。仿真结果表明, 在不同帧长, 不同天线数情况下, 基于 LDPC 编码的 DM-ST 系统和基于卷积码编码系统各有其优势。整个系统具有接收简单, 复杂度低等优点。在实际应用中, 适合于高速的数据传输业务。

关键词: 交织分复用空时码 (DM-ST); LDPC 码; 卷积码; 迭代接收

中图分类号: TN911.23

文献标识码: A

文章编号: 1673-825X(2009)01-0057-04

Interleave-division-multiple space-time system using LDPC codes

YAN Yong-rui¹, WEI Qin-fang¹, LI Yong², Wang Lin^{1,3}

(1. Institute of Coding and Information Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, P. R. China;

2. Callop Tech. NC, Chongqing 400065, P. R. China; 3. Department of Communication Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, P. R. China)

Abstract IDM-ST is one of key technologies in the fourth generation of mobile telecommunication. A LDPC coded DM-ST system was designed and it has been compared with a convolutional coded DM-ST system over quasi-static Rayleigh fading channels. Simulation results show that the proposed system and the convolutional coded system have their own predominances with different frame length and different antenna numbers. The proposed system has simple receiver and low complexity. In practical application, it is very suitable for high-speed transmission operation.

Key words interleave-division multiple space-time codes; LDPC codes; convolutional codes; iterative receiving

0 引言

空时码 (space-time codes) 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, 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引入时域和空域相关^[1], 综合利用时域和空域二维信息, 在接收端进行分集接收。空时编码将空间分集、频率分集及时间分集结合在一起, 从通信系统的整体出发, 提高多径衰落信道的通信质量。

交织分复用空时码 (interleave-division-multiple-xing space-time coding, IDM-ST) 技术是第四代移动通信的关键技术之一, 它是 IDMA 系统的延伸和演化, 它将 IDMA 系统思想应用于基于发射分集技术

的空时码中, 使得 DM-ST 系统接近于所谓的 canonical 性能, 具有接收简单, 复杂度低等优点, 且相比现存的空时码方案有很大的提高^[2]。

LDPC (low-density parity check) 码是一种由稀疏校验矩阵定义的线性分组码, 它是到目前为止最逼近香农限的一类纠错码^[3]。本文中设计了一种基于 LDPC 编码的 DM-ST 系统, 以期进一步提高整个系统性能。

1 IDM-ST 系统介绍

1.1 IDM-ST 系统简述

DM-ST 系统是 IDMA 系统的演化和延伸, 它使用交织器来区分来自不同天线的信号, 适用于任意数量的发射天线。接收机的复杂性较低, 随着发送天线数增加而线性增加^[4]。

这里, 我们考虑 N 根发射天线和 1 根接收天线

收稿日期: 2008-09-02 修订日期: 2008-10-12

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划项目 (NCET-04-0601); 重庆市科委自然科学基金项目 (CSTC 2007BB2387)

的情况

1.2 发射机结构

IDM-ST发射机结构如图 1 所示。

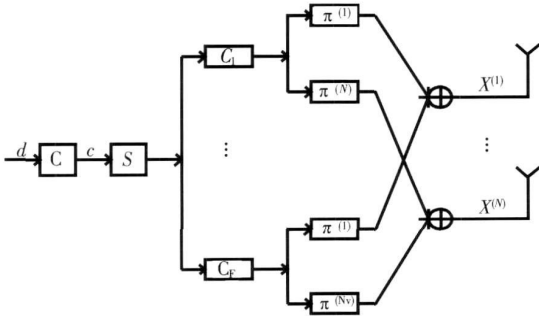


图 1 IDM-ST 发射机结构

Fig 1 Transmitter structure of IDM-ST systems

图 1 中,给出了 N 根发送天线, 1 根接收天线的 IDM-ST 系统发射机结构。信息码元序列 d 首先经过编码器 C 编码为码字序列 c , 为了减小相关性和增加码率, 我们进行如下操作: 把 c 分割成等长的 F 段子序列 $[C_1, \dots, C_f, \dots, C_F]$, 然后每个 c_f 独立地交织 N 次, 产生 $\{x^{nf}, n = 1, \dots, N\}$ 。我们总共使用了 $N \times F$ 个独立随机交织器。第 n 根发射天线上的发射信号为^[5]

$$X^{(n)} = \sum_{f=1}^F x^{(n,f)}, n = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

IDM-ST 系统的结构框图^[6]如图 2 所示。

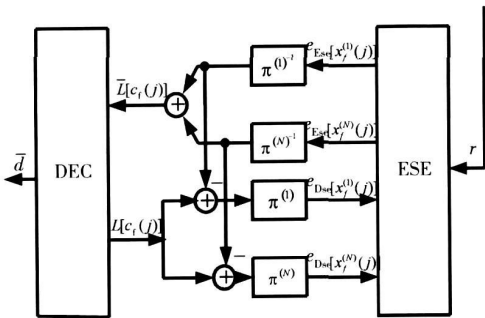


图 2 IDM-ST 接收机结构

Fig 2 Receiver structure of IDM-ST systems

1.3 接收机结构

在接收端, 类似于 IDMA 接收机^[7], 我们采用一个次优的 Turbo 型迭代译码结构, 其中包括基本信号检测器 (ESE) 和 后验概率译码器 (DEC)。ESE 和 DEC 的输出为 $\{X_f^{(n)}(j)\}$ 的外信息。它的定义如下:

$$e(x_f^{(n)}(j)) = \log \left\{ \frac{P_r(x_f^{(n)}(j) = +1)}{P_r(x_f^{(n)}(j) = -1)} \right\}, \forall f, n, j \quad (2)$$

我们分别用 $e_{\text{Ese}}[x_f^{(n)}(j)]$ 和 $e_{\text{Dec}}[x_f^{(n)}(j)]$ 来表示 ESE 和 DEC 模块产生的外信息。由 ESE 和 DEC 模块产生的外信息来完成一个全局的片到片的 Turbo 型迭代接收过程。

1.3.1 ESE 模块

在高斯信道模型下, 在接收端收到的信号为

$$r(j) = \sum_{n=1}^N \sum_{f=1}^F h[n] \cdot X_f^{(n)}(j) + n(j) \quad (3)$$

(3) 式中: $h[n]$ 为第 n 根发送天线和接收天线间的信道相关系数; $n(j)$ 是均值为 0, 每维方差为 $\sigma^2 = N_0/2$ 的复高斯随机变量。

ESE 模块的基本作用是消除天线间的干扰。它采用片到片的方式, 也就是说, 每一次只有一个信道观测值 $r(j)$ 被用到, 这使得 ESE 模块的实现变得非常简单。从 (3) 式可以得到^[8]

$$r(j) = h[n] \cdot x_f^{(n)}(j) + \xi_f^{(n)}(j) \quad (4)$$

$$\xi_f^{(n)}(j) = r(j) - h[n] \cdot x_f^{(n)}(j) = \sum_{n' \neq n} h[n'] \cdot x_f^{(n')}(j) + n(j) \quad (5)$$

(4), (5) 式中: $\xi_f^{(n)}(j)$ 表示为第 f 段第 n 根天线第 j 片的失真, 满足近似高斯分布, 所以可以用均值和方差函数来表示。 $E(\cdot)$ 和 $\text{Var}(\cdot)$ 分别表示均值和方差函数。

根据文献 [9], 我们可以得到 ESE 模块的检测算法如下。

第 1 步: 对接收信号均值和方差的估计

$$E[r(j)] = \sum_{n=1}^N \sum_{f=1}^F h[n] \cdot E[X_f^{(n)}(j)] \quad (6)$$

$$\text{Var}[r(j)] = \sum_{n=1}^N \sum_{f=1}^F |h[n]|^2 \cdot \text{Var}[X_f^{(n)}(j)] + \sigma^2 \quad (7)$$

第 2 步: 产生外信息

$$e_{\text{Ese}}[x_f^{(n)}(j)] = 2 \cdot h[n] \cdot \frac{r(j) - (E[r(j)] - h[n] \cdot E[x_f^{(n)}(j)])}{\text{Var}[r(j)] - |h[n]|^2 \cdot \text{Var}[x_f^{(n)}(j)]} \quad (8)$$

1.3.2 DEC 模块

DEC 实现的是后验概率译码 (APP), ESE 产生的第 f 段第 n 根天线外信息 $e_{\text{Ese}}[x_f^{(n)}(j)]$ 解交织后作为译码器输入端的先验信息, 然后译码器产生一个相应的外信息 $L(c_f)$, 经过交织返回给 ESE 去更新噪声的均值和方差, 作为第 2 次迭代 ESE 输入的先验信息。经过 M 次迭代以后, 译码器产生信息序列的硬判决值 \bar{d} 。算法如下

$$\bar{L}[c_f(j)] = \sum_{n=1}^N e_{\text{Ese}}[x_f^{(n)}(j)] \quad (9)$$

$$e_{Dec}[X_f^{(n)}(j)] = L[\varphi(j)] - e_{Ese}[X_f^{(n)}(j)] \quad (10)$$

$$E[X_f^{(n)}(j)] = \tanh\{e_{Dec}[X_f^{(n)}(j)]/2\} \quad (11)$$

$$\text{Var}[X_f^{(n)}(j)] = 1 - \{E[X_f^{(n)}(j)]\}^2 \quad (12)$$

信息初始化,

$$e_{Dec}[X_f^{(n)}(j)] = 0 \quad (13)$$

IDM-ST 系统接收机和 IDMA 系统的接收机类似。区别在于: 由于在 IDM-ST 系统的发射端, 我们将分段后的每段独立交织 N 次, 也就是说将编码后的每个码字重复 N 次, 所以我们在接收端计算每个码字的 ESE 外信息的时候, 要将每段解交织后的 N 根天线的外信息 $e_{Ese}(x_f^{(n)}(j))$ 求和, 以此作为 DEC 的输入信息。

2 仿真结果及其分析

下面我们给出 IDM-ST 系统在不同编码 (LDPC 码, 卷积码) 情况下的仿真性能。

仿真环境: 天线数分别为 2, 4, 8, 16 根, IDM-ST 系统迭代次数为 5 次, LDPC 译码迭代次数为 20 次, LDPC 码采用规则 (3, 6) 码, 卷积码采用 (23, 35) 系统递归型卷积码, 码率均为 0.5

图 3 给出了基于 LDPC 编码的 IDM-ST 系统在准静态的瑞利衰落信道下, 帧长为 1 000 bit 和 5 000 bit 的性能对比图。由图 3 可知, 无论天线数为多少, 帧长为 1 000 bit 的 IDM-ST 系统性能均要优于帧长为 5 000 bit 的 IDM-ST 系统性能, 但随着天线数目的增多, 优势越来越小。

图 4 给出了基于卷积码编码的 IDM-ST 系统在准静态的瑞利衰落信道下, 帧长为 1 000 bit 和 5 000 bit 的性能对比图。从图 3 中可以看出, 与基于 LDPC 编码的 IDM-ST 系统不同的是: 基于卷积码编码的 IDM-ST 系统分别在 2, 4 根天线时, 帧长为 1 000 bit 时系统性能优于帧长为 5 000 bit 时的性能; 而在 8 和 16 根天线时, 则是帧长为 5 000 bit 的性能更优。但在上述 2 种情况下, 随着天线数的增加, 同样优势越来越小。

在准静态的瑞利衰落信道下, 分别基于 LDPC 编码和卷积码编码的 IDM-ST 系统性能对比仿真曲线如图 5 所示。当帧长为 1 000 bit 天线数为 2 时, 基于 LDPC 编码的系统性能明显优于基于卷积码的系统性能, 在 $BER = 10^{-5}$ 时, 编码增益约为 3.8 dB; 但随着天线数目增加, 当采用 8, 16 根天线时, 优势越来越小, 性能逐渐趋于一致; 当帧长为 5 000 bit 天线数为 2 时, 在 17 dB 以后基于 LDPC 的系统性能优于基于卷积码的系统性能, 而天线数为 8, 16 时, 基于卷积码的系统性能则更优, 但随着天线数增加优势也是越来越小。

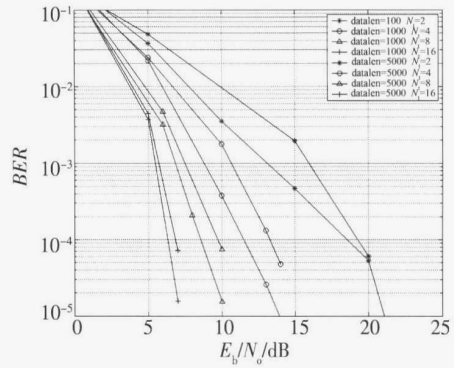


图 3 基于 LDPC 编码的 IDM-ST 系统性能仿真图

Fig. 3 Performances of LDPC coded IDM-ST systems

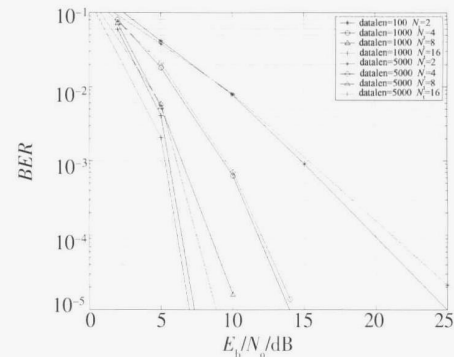


图 4 基于卷积码编码的 IDM-ST 系统性能仿真图

Fig. 4 Performances of convolutional coded IDM-ST systems

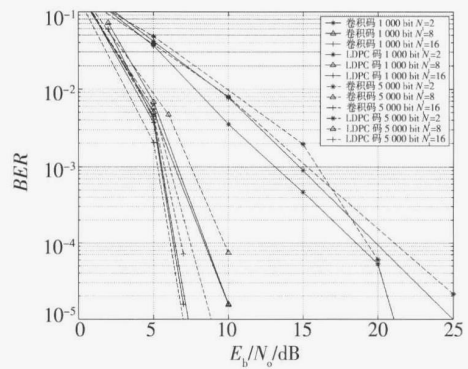


图 5 基于卷积码编码和 LDPC 编码的 IDM-ST 系统性能仿真图

Fig. 5 Performances comparison of IDM-ST systems with convolutional codes and with LDPC codes

3 结束语

作为一种新的空时码, IDM-ST 码是第四代移动通信的一个技术热点, 有着非常卓越的多天线通信性能和广阔的应用前景。本文中设计了一种基于 LDPC 编码的 IDM-ST 系统。仿真结果表明, 在准静态的瑞利衰落信道中, 基于 LDPC 编码的 IDM-ST 系统在短帧下性能更优。在帧长为 1 000 bit 时, 基于

LDPC 编码的系统性能略优于基于卷积码编码的系统性能,且随着发射天线数目增多,二者性能渐趋一致。在帧长为 5 000 bit 时,2 根天线的基于 LDPC 编码的系统性能在 17 dB 后优于基于卷积码编码的系统性能,但在 8 16 根天线时,基于卷积码编码的系统性能反而更优。

参考文献:

[1] TAROKH V, SESHADRIN, CALDERBANK A R. Space-time codes for high data rate wireless communication: performance analysis and code construction [J]. IEEE Trans Inform. Theory, 1998, 44(3): 744-765.

[2] WU K Y, LEUNG W K, LI P ing. A simple approach to near-optimal multiple transmit antenna space-time codes [J]. IEEE Inter Commun, 2003 4(3): 2603-2607.

[3] CHUNG SaeYoung FORNEY G D, THOMAS J et al. On the Design of Low-Density Parity-Check Codes with in 0.0045dB of the Shannon Limit [J]. IEEE Commun, 2001, 5(2): 58-60.

[4] NARULA A, TROTT M D, WORNELL G W. Performance limits of coded diversity methods for transmitter antenna arrays [J]. IEEE Trans Inform. Theory, 1999, 45(11): 2418-2433.

[5] FOSCHNIG J GANS M. On the limits of wireless communication in a fading environment when using multiple antennas [J]. Wireless Personal Commun, 1998, (6): 311-335.

[6] LI P ing WU K Y, LEUNG W K. Interleaved division multiplexing space-time codes [C] // in Proc. IEEE VTC, Korea [s n], Apr. 2003.

[7] 罗尧,王琳,凌珺. 基于 LDPC 编码的交织多址接入 (DMA) 系统 [J]. 重庆邮电学院学报: 自然科学版, 2006 18(5): 581-583.

[8] WU Keying LI P ing YUAN Jirhong A Quasi-Random Approach to Space-Time Codes [C] // in Proc. Int Symp. Turbo Codes & Related Topics, Munich, Germany [s n], April 3-7, 2006.

[9] WU Keying LI P ing Multi-Layer Turbo Space-Time Codes [J]. IEEE Communications Letters, 2009 9(1): 55-57.

作者简介:



闫永瑞 (1983-), 男, 山西吕梁人, 硕士研究生, 主要从事宽带无线通信方面的研究。
Email: dailake8210@163.com.

(编辑: 刘勇)

(上接第 52 页)

参考文献:

[1] 付梦印, 邓志红, 张继伟, 等. Kalman 滤波理论及其在导航系统中的应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.

[2] 师延山, 李道本. 无线定位扩展卡尔曼滤波算法的优化 [J]. 北京航空航天大学学报, 2003 29(4): 308-311.

[3] 陈礼斌, 刘钊. 一种新的自适应扩展卡尔曼滤波算法 [J]. 激光与红外, 2006 36(3): 210-212.

[4] 周宏仁, 敬忠良, 王培德. 机动目标跟踪 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1991.

[5] 陈非, 敬忠良, 李建勋. 基于当前统计模型的机动目标被动跟踪 [J]. 上海交通大学学报, 2003 37(3): 366-369.

[6] 张志良, 孙棣华, 张星霞. TDOA 定位中到达时间及时间差误差的统计模型 [J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2006 29(1): 85-88.

[7] 齐海涛, 沈建国, 朱联祥, 等. 基于 A-GPS/TDOA 混合定位中的数据融合 [J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2007, 19(6): 53-55.

作者简介:



罗 磊 (1983-), 男, 河南邓州人, 硕士研究生, 主要研究方向为移动通信与无线定位。
E-mail: hrole88011743@163.com.



田增山 (1968-), 男, 河南固始人, 教授, 博士, 主要研究方向为移动通信、个人通信、GPS 及蜂窝网定位系统及其应用技术研究。
E-mail: tianzhan@cqupt.edu.cn.

(编辑: 魏琴芳)