

# MIMO - MB - OFDM 超宽带通信系统的研究

金一剑,葛利嘉,叶凌峡

(重庆大学 通信工程学院,重庆 400044)

**摘要:** MB-OFDM UWB 无线通信技术和 MIMO 技术是目前无线通信领域中的热门技术。文中在两者的基础上提出一种基于 V-BLAST 的 MIMO-MB-OFDM 超宽带通信系统,为提高 MB-OFDM UWB 系统的性能给出了一个可行的方法。详细介绍了系统的各个模块组成和相应的工作流程,并选择了经典的 Golden 检测算法作为 V-BLAST 检测算法,最后对系统性能进行分析。仿真结果表明,该系统与传统的 MB-OFDM UWB 相比在性能上有了显著的提高。

**关键词:** 多频带超宽带;垂直分层空时码;多人多出;Golden 检测算法

**中图分类号:** TN915

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2007)12-0177-04

## Research on MIMO - MB - OFDM UWB Communication System

JIN Yi-jian, GE Li-jia, YE Ling-xia

(College of Communication Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** MB-OFDM UWB and MIMO wireless communication technologies are currently popular technologies in the wireless communication field. Based on V-BLAST and MIMO-MB-OFDM, designed a new UWB system to improve the performance of UWB systems and discussed the components of every module and corresponding working processes. They choose classical Golden detection algorithm to analyse the system performance. According to the simulation results, the new UWB system has obviously improved the performance of the traditional one.

**Key words:** MB-OFDM UWB; V-BLAST; MIMO; Golden detection algorithm

### 0 引言

近年来,超宽带(UWB)无线通信技术因其高速率、低功耗、低成本等诸多优点和特性备受关注<sup>[1]</sup>。传统意义上的 UWB 技术是通过调制超短脉冲的幅度、相位来实现数字信息的传输。而 MB-OFDM UWB 是近年来提出的新 UWB 方案,已成为国内外研究的热点。多人多出(MIMO)技术在发射端和接收端使用多个天线,在不增加带宽和发射功率的情况下,通过使用分集和复用成倍提高通信系统的容量和频谱利用率。MB-OFDM UWB 和 MIMO 的结合将能提供一种经济、有效的高速率传输手段,满足人们对未来短距离无线通信越来越高的要求。

目前,关于 MIMO-MB-OFDM UWB 系统的研究已引起人们的关注。W. Pam Siri Wongpairat 等人提出了空-时-频编码的 MB-OFDM UWB 系统模型框架<sup>[2]</sup>,对系统性能进行了分析和验证。文献[3]分析

了使用 OFDM 方案的超宽带系统在典型的 UWB 信道下面的性能,以及多天线对系统性能的影响。虽然这方面已经有了一定的进展,但是在系统构架、信道模型和 MIMO 算法等相关方面的研究还相当有限,至于系统性能相对于 MB-OFDM UWB 系统有多大的提升也需要进一步来验证。

笔者提出了基于 V-BLAST 的 MIMO-MB-OFDM UWB 系统的构想。详细描述了 MIMO-MB-OFDM 系统模型及相应的工作流程,深入研究了 V-BLAST 系统的 Golden 检测算法。通过计算机仿真表明,利用基于 V-BLAST 的 MIMO 技术可以很好地改善 MB-OFDM UWB 系统的性能。

### 1 基于 V-BLAST 的 MIMO-MB-OFDM 超宽带系统

#### 1.1 V-BLAST 系统

MIMO 技术主要包括空间分集技术和空间复用技术。空间复用可以大幅度提高信道容量,空间分集可以增加信道的可靠性,降低误码率。空间分集是指在不同的天线上发射包含同样信息的信号,然后用多

收稿日期:2007-02-02

作者简介:金一剑(1982-),男,浙江温州人,硕士研究生,研究方向为超宽带无线通信;葛利嘉,教授,硕士生导师,研究方向为超宽带无线通信、智能天线和多载波调制技术。

个天线接收。空间复用是在不同的天线上发射不同的信息。贝尔实验室的 V-BLAST 系统<sup>[3]</sup>是空间复用技术的典型应用。

图 1 所示是 V-BLAST 系统的模型框图。系统通过串并转换将单个数据流分解为多个数据流,并从多个天线同时发出;在接收端,同样用多个天线接收数据,然后用 V-BLAST 检测算法检测出每个天线发送的数据流,再经串并转换,恢复出原始数据流。

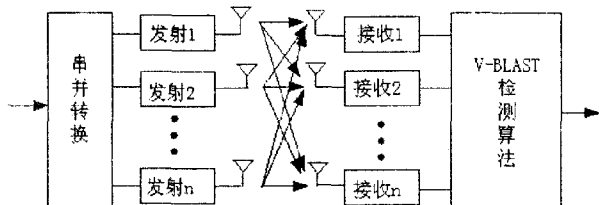


图 1 V-BLAST 系统模型框图

大量研究表明<sup>[4,5]</sup>,多发多收的 V-BLAST 系统的容量显著高于传统的单发单收通信系统,因此基于 V-BLAST 的 MIMO-MB-OFDM UWB 系统相对于传统的 MB-OFDM UWB 系统而言,其频谱利用率将获得极大的提高,从而能满足对 UWB 越来越高的性能要求,这正是提出 V-BLAST 的 MIMO-MB-OFDM UWB 系统构想的原因所在。

## 1.2 MIMO-MB-OFDM 超宽带系统模型

图 2 所示即为基于 V-BLAST 的 MIMO-MB-OFDM 系统模型框图。整个系统就是将 V-BLAST 系统应用到 MB-OFDM UWB 系统里,其中发射端有  $M$  条发射天线和接收端有  $N$  条接收天线。在发射模块这端,首先把源数据流通过串并转换变成  $M$  个并行的子数据流,分送给  $M$  条发射支路,再经过 OFDM 调制后将信号同时从  $M$  条发射天线上发射出去。而在接收模块这端, $N$  条接收天线接收到的信号经过进行 OFDM 解调后,同时送给 V-BLAST 检测模块,通过检测算法的检测重新得到所要传输的数据。

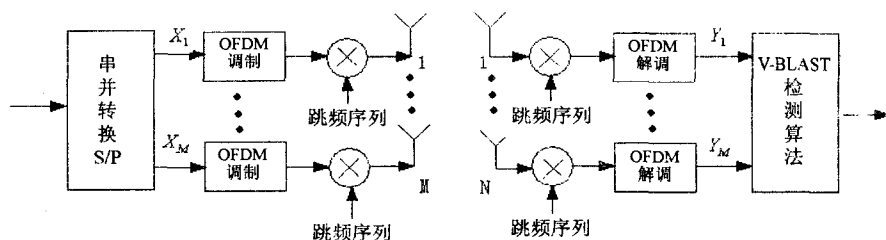


图 2 基于 V-BLAST 的 MIMO-MB-OFDM UWB 系统模型

MB-OFDM UWB 系统是将整个可用频带分成多个子带(可表示为子带  $a$ 、子带  $b$ 、子带  $c$  等),信号根据跳频序列在不同的子带上传输。假定系统当前在子带  $a$  上运行,子载波数为  $K$ ,则向量  $X_{na}$  和  $Y_{na}$  分别为发

射端串并变换后的发送序列和接收端 FFT 变换后的接收序列,它们可进一步表示为:  $X_{na} = [X_{na}^{(1)}, X_{na}^{(2)}, \dots, X_{na}^{(k)}]^T$  和  $Y_{na} = [Y_{na}^{(1)}, Y_{na}^{(2)}, \dots, Y_{na}^{(k)}]^T$  的形式。对整个系统的 V-BLAST 检测可通过对其各个子载波信道的 V-BLAST 检测来完成。经过 OFDM 解调后,子带  $a$  上传送的第  $k$  个子载波上的接受信号序列可以写成:

$$Y_a(k) = H_a(k)X_a(k) + N_a(k) \quad (1)$$

其中  $X_a(k) = [X_{(1)a}^k, X_{(2)a}^k, \dots, X_{(M)a}^k]^T$ ,  $X_{ia}^k$  表示从第  $i$  根天线上发射的第  $k$  个子载波;  $N_a(k)$  为加性白高斯噪声矢量,  $E\{N_a(k)N_a^H(k)\} = \sigma_n^2 I_M$ ,  $I_M$  是  $M \times M$  的单位矩阵;  $Y_a(k) = [Y_{(1)a}^k, Y_{(2)a}^k, \dots, Y_{(N)a}^k]^T$ ,  $Y_{ia}^k$  表示从第  $i$  根天线接收的第  $k$  个子载波。

在式(1)中,频域信道转移函数可以表示为:

$$H_a(k) = \sum_{p=0}^{P-1} H_p \exp(j2\pi pk/K) \quad (2)$$

其中,  $p$  为 MIMO 多径信道的路径数,  $H_p$  为各径的  $M \times N$  系数矩阵。

从上面的描述可以看出,整个系统的 V-BLAST 检测实际上就是  $K$  个  $M \times N$  信道的 V-BLAST 检测的总和,由于每个 V-BLAST 检测都涉及到若干对信道矩阵及其压缩矩阵求广义逆的运算,所以整个系统能否达到预期的性能,检测算法的选择是关键。

## 2 V-BLAST 检测算法

针对 V-BLAST 系统的特点,人们提出了很多不同的检测算法。目前已知的各种实用算法都是基于对信道传输矩阵的不同变换得到的,比如 Golden 检测算法<sup>[5]</sup>、最小均方误差(MMSE)算法<sup>[6]</sup>、并行检测算法<sup>[7]</sup>和半盲检测<sup>[8]</sup>等。根据系统的需求和各种算法的特点,选择经典的 Golden 检测算法作为系统的 V-BLAST 检测算法。

Golden 检测算法是一种串行干扰抵消算法,首先用迫零算法完成信噪比最大的信号的检测,然后从接收信号中减去该信号,再完成对信噪比次最大信号的检测,如此循环,直至完成所有信号的检测。

其主要过程总结如下:

$$1) \text{ 初始化: } i = 1, Y_1 = Y, G_1 = (H)^T$$

$$2) \text{ 递归: } k_1 = \arg \min_{j \in \{k_1, k_2, \dots, k_{i-1}\}} \|(G_i)_j\|^2$$

(( $G_i$ ) <sub>$j$</sub>  为  $G_i$  的第  $j$  行)

$$W_k = (G_i)_{k_1}$$



情况下,文中提出的系统在室内多媒体设备间的无线传输等方面具有很大的实用意义。文中只是初步验证了系统的性能,至于天线阵列的选择和 V-BLAST 检测算法的优化将是下一步研究的重点。

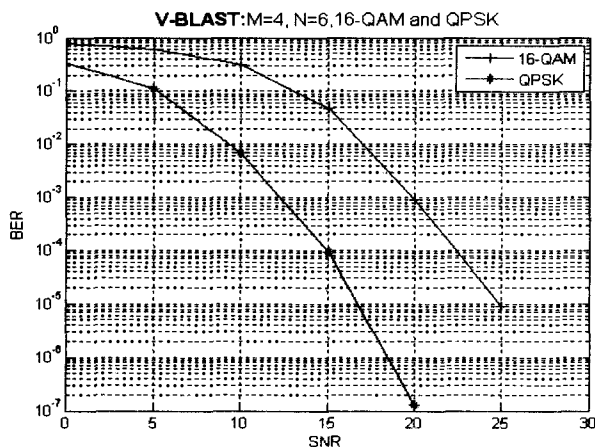


图 6 系统在 16-QAM 和 QPSK 调制模式下的性能比较

#### 参考文献:

- [1] Porcino D, Hirt W. Ultra-wideband radio technology: potential and challenges ahead[J]. IEEE Communications Magazine, 2003, 41(7): 66-74.
- [2] Siri Wongpairat W P, Su Weifeng, Olfat M, et al. Space-Time-Frequency Coded Multiband UWB Communication Systems[C]//WCNC 2005. [s.l.]: [s.n.], 2005: 426-431.
- [3] 王树军, 毕光国, 黄勇富, 等. 一种采用多天线的 OFDM 超宽带通信系统的性能分析[J]. 电路与系统学报, 2006, 11(4): 104-107.
- [4] Wolniansky P W, Foschini G J, Golden G D, et al. V-BLAST: an architecture for realizing very high data rates over the rich-scattering wireless channel[C]//1998 URSI International Symposium on Signals, Systems, and Electronics. [s.l.]: [s.n.], 1998: 295-300.
- [5] Golden G D, Foschini G J, Valenzuela R A, et al. Detection Algorithm and Initial Laboratory Results Using V-BLAST Space-time Communication Architecture[J]. Electron Lett, 1999, 35(1): 14-15.
- [6] Haykin S, Sellathurai M, de Jong Y, et al. Turbo-MIMO for wireless communication[J]. IEEE Commun Magazine, 2004, 42(10): 48-53.
- [7] Li Yuan, Luo Zhi Quan. Parallel detection for V-BLAST system[C]//. IEEE International Conference on Communications. [s.l.]: [s.n.], 2002: 340-344.
- [8] Wang Jianming, Zhao Chunming. A semi-blind detection algorithm for V-BLAST system[C]//Global Telecommunications Conference. [s.l.]: [s.n.], 2003: 3366-3369.

(上接第 127 页)

等将有新的要求,这些将成为社会运行的首要任务。因此,神经计算和进化计算与高速信息网络理论联系将更加密切,并在计算机网络领域中发挥巨大的作用,例如,大范围计算机网络的自组织功能实现就要进行进化计算。

## 4 结论及展望

遗传算法是一种基于生物自然选择与遗传机理的随机搜索与优化方法<sup>[8]</sup>。近年来,由于遗传算法求解复杂优化问题的巨大潜力及其在工业工程领域的成功应用,这种算法受到了国内外学者的广泛关注。文中介绍了神经网络理论在应用中的优缺点及研究动向,并分析了遗传算法的优缺点,说明了两者的结合形成遗传-神经网络的原因及两者的结合方法。应该说明的是,除了文中论述的研究动向以外,还有形形色色的、规模可观的研究工作正在进行。

事实上,探究大脑-思维-计算之间的关系还刚刚开始<sup>[3]</sup>,道路还十分漫长,关于脑的计算原理及其复杂性;关于学习、联想和记忆过程的机理及其模拟等方面的研究已受到人们的关注,它未来的发展必将是激动人心的。神经网络理论的前沿问题将渗透在 21 世

纪科学的挑战性问题中,可能取得重大的突破。总之,在 21 世纪科学技术发展征程中,神经网络理论和遗传算法理论的发展将会更上一个台阶,遗传算法和神经网络结合的应用随之也更为广泛。

#### 参考文献:

- [1] 汪磊. 基于遗传神经网络的入侵检测模型研究[D]. 北京:清华大学出版社, 2005.
- [2] 唐春明, 高协平. 进化神经网络的研究进展[J]. 系统工程与电子技术, 2001, 23(10): 91-94.
- [3] 陈建安. 遗传算法理论研究综述[J]. 西安电子科技大学学报, 1998, 25(3): 364-368.
- [4] 吉根林. 遗传算法研究综述[J]. 计算机应用与软件, 2004, 21(2): 70-73.
- [5] 张颖, 刘艳秋. 软计算方法[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 69-107.
- [6] 佚名. 遗传算法研究方向[EB/OL]. 中国人工智能网. 2007-02. <http://www.intsci.ac.cn/intro/direction.html>.
- [7] 刘永红. 神经网络理论的发展与前沿问题[EB/OL]. 科研中国. 2006-04-04. <http://www.sciei.com/Article/Computer/200604/Article-5421-6.html>.
- [8] 刘建娟, 徐晓苏. 改进遗传神经网络在组合导航中的应用[J]. 中国惯性技术学报, 2006, 14(5): 24-27.