

基于 MIMO-OFDM 系统的自适应算法研究

宁 宁

(辽宁工程技术大学 电子与信息工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

摘要: 为了提高 MIMO-OFDM 系统的数据传输率和频谱利用率, 提出一种新的自适应算法。该算法在保证信道质量所需误码率和总发射功率的前提下, 按照各个子载波衰落程度动态地分配比特和功率, 使系统的总数据传输速率最大。理论分析得出, 该算法降低了系统运算复杂度, 能极大地改善系统的整体性能。

关键词: MIMO-OFDM; 自适应; 功率分配; 比特分配

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)02-0062-03

Adaptive algorithm analysis of MIMO-OFDM systems

Ning Ning

(Department of Electronics and Information Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: In order to improve data transmission rates and spectrum efficiency of MIMO-OFDM systems, this paper proposes a new adaptive algorithm. While the channel transmission quality to meet the requirements of a certain target BER (bit error rate) and total emissive power, according to each sub-carrier decline degree to adjust each sub-carrier modulation method freely, try to minimize the total data rate of system. Theory analysis shows the algorithm can reduce system complexity and improve overall performance of the system.

Key words: MIMO-OFDM; adaptation; power allocation; bit allocation

为了提高移动通信的数据传输速率, MIMO-OFDM 技术应运而生。MIMO-OFDM 技术结合了正交频分复用 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 和多输入多输出 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 两种技术的优点, 利用时间、频率和空间三种分集技术, 不仅可以提高频谱利用率, 增大系统容量, 还可以有效地克服多径效应和频率选择性衰落, 在技术上相互补充、相得益彰, 为新一代移动通信中最有前途的技术之一^[1-4]。

1 MIMO-OFDM 系统的自适应技术

1.1 自适应技术

在多用户情况下, 如何为每个用户最优地分配系统资源, 从而使系统的发送功率最低或者使系统的传输速率最高, 是一个非常复杂的问题。MIMO-OFDM 技术虽然具有很多优点, 但每个子载波上的衰落程度不同, 其误码率主要由经历衰落最严重的子信道决定。在 MIMO-OFDM 系统中使用自适应技术可以根据子载波衰落情况对各个子载波动态地分配发送功率和信息比特数, 以最大限度地提高系统容量。自适应技术可大大提

高系统的传输容量和传输性能, 从而优化系统性能^[5]。

1.2 自适应 MIMO-OFDM 系统模型

两收两发的自适应 MIMO-OFDM 系统框图如图 1 所示。假设在第一个发射周期中, 信号 x_1 和 x_2 同时从天线 1 和天线 2 分别发射; 在第二个发射周期中由于进行空时分组编码, 则信号 $-x_2^*$ 和 x_1^* 分别从天线 1 和天线 2 上同时发射, 其中 x_1^* 表示 x_1 的复共轭^[6]。记 X_1 和 X_2 分别为从发送天线 1 和发送天线 2 上发送的信号, 则有:

$$\begin{cases} X_1 = [x_1 & -x_2^*] \\ X_2 = [x_2 & x_1^*] \end{cases} \quad (1)$$

而在接收端, 记 r_1^j 与 r_2^j 分别表示第 j 副天线在时刻 t 与 $t+T$ 接收到的信号, 有:

$$\begin{cases} r_1^j = h_{j,1}x_1 + h_{j,2}x_2 + \eta_1^j \\ r_2^j = -h_{j,1}x_2^* + h_{j,2}x_1^* + \eta_2^j \end{cases} \quad (2)$$

其中 $h_{j,i}$ 表示发射天线 i 到接收天线 j 的信道衰落系

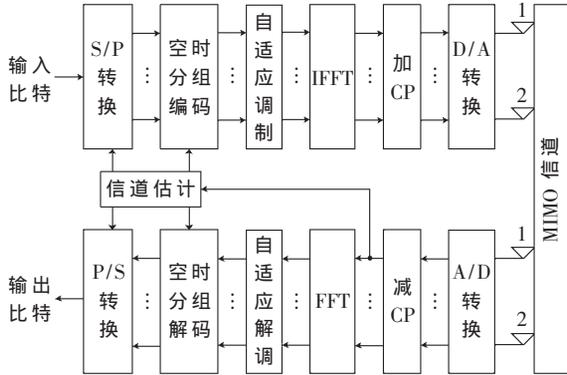


图1 自适应 MIMO-OFDM 系统框图

数, η_1^j 和 η_2^j 分别表示接收天线 j 在时刻 t 与 $t+T$ 时的噪声信号。

2 自适应算法

在 MIMO-OFDM 系统中采用自适应技术时, 很重要的问题就是功率比特分配问题。通常对此内容的研究主要从三个角度出发: (1) 在保证给定的性能和要求的速率下, 使系统的总发射功率最小; (2) 在给定发射功率和数据速率下, 使系统最小; (3) 在一定的总发射功率和目标下, 使系统 BER 的总数据速率最大。目前国内外已经有了不少关于自适应算法的研究, 最具代表性的有 Chow 算法、Fischer 算法等。在这些算法中, 主要是运算复杂度和系统性能两者之间的矛盾, 即运算复杂度越高系统性能越好。

2.1 Fischer 算法

Fischer 算法是在 Chow 算法的基础上改进的算法, 是牺牲一部分系统性能来降低复杂度。与 Chow 算法根据各个子载波的信道容量分配比特不同, Fischer 算法是在维持恒定传输速率和给定总发射功率的前提下, 使得系统的性能达到优化^[7-8]。Fischer 算法的步骤如下:

(1) 首先计算各个子载波的 $\log_2 \sigma_k^2$ 和可分配的比特数 b_k , 其中 σ_k^2 是噪声方差;

(2) 如果 $b_k < 0$ 且 $k \in \{1, 2, \dots, N\}$, 则把第 k 个子载波从 $\{1, 2, \dots, N\}$ 中剔除, 直到 $b_k \geq 0$ 。然后进行量化: $\hat{b}_k = \text{round}(b_k)$ 。量化误差等于 $\Delta b_k = b_k - \hat{b}_k$;

(3) 计算分配的比特总数 $R_{\text{total}} = \sum_{k=1}^N \hat{b}_k$ 。若 $R_{\text{total}} \neq R$, 对 \hat{b}_k 加减 1, 则 R_{total} 相应地加减 1, 重复此步骤直至 $R_{\text{total}} = R$;

(4) 最后对功率进行分配。

2.2 基于 MIMO-OFDM 系统的自适应算法

在满足一定 MIMO-OFDM 系统性能的条件下, 合适的自适应算法应该是性能和复杂度的折中。本文提出一种新的 MIMO-OFDM 系统自适应算法, 该算法是在保证一定的总发射功率和目标下, 使系统的总数据速率最大, 其数学表达式为:

$$\max \sum_{k=1}^N b_k, BER \leq BER_{\text{target}}, \sum_{k=1}^N P_k = P_{\text{target}} \quad (3)$$

其中, b_k 为第 k 个子载波上传送的比特数, BER_{target} 表示系统要求的目标误码率, P_k 为分配到第 k 个子载波上的发射功率, P_{target} 为发射功率固定时的总发射功率。

MIMO-OFDM 系统在发射端将给定的信道分成 N 个正交的子信道, 并且每个子信道上使用一个子载波进行调制, 这样就有 N 个相互重叠又正交的子载波。定义信道平均信噪比为 \overline{SNR} , 则子载波 k 上的信噪比为:

$$SNR_k = \overline{SNR} |H(k)|^2 \quad (4)$$

其中, $H(k)$ 代表第 k 个子载波上的信道频域增益。在该算法中 $b_k = 0, 1, 2, 4, 6$, 它们分别对应不传输、BPSK、QPSK、16QAM 和 64QAM 五种调制方式。对于多进制调制, 随着进制数 M 的增大, 相应的传输效率也会增加, 但是调制方式的抗干扰性能会有所下降。在调制进制数 M 相同时, MQAM 调制具有最高的数据吞吐量。在实际设计中可以在信道质量较差的时候, 采用性能较好的低阶调制方式(如 QPSK); 在信道质量较好时, 采用高阶调制方式(如 16QAM), 从而提供高速率传输和高频谱利用率。BPSK、QPSK、16QAM 和 64QAM 的误码率公式分别为^[9]:

$$\begin{aligned} BER_{\text{BPSK}} &= Q(\sqrt{2\gamma}), BER_{\text{QPSK}} = 2Q(\sqrt{\gamma}), \\ BER_{16\text{QAM}} &= 3Q(\sqrt{\gamma/5}), BER_{64\text{QAM}} = \frac{7}{2}Q(\sqrt{\gamma/21}) \end{aligned} \quad (5)$$

其中, γ 为信噪比, $Q(x) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt$, $\text{erfc}(x)$ 为误差函数。可以根据上述公式计算不同误码率要求下的信噪比。图 2 为这四种调制方式的 SNR-BER 曲线。

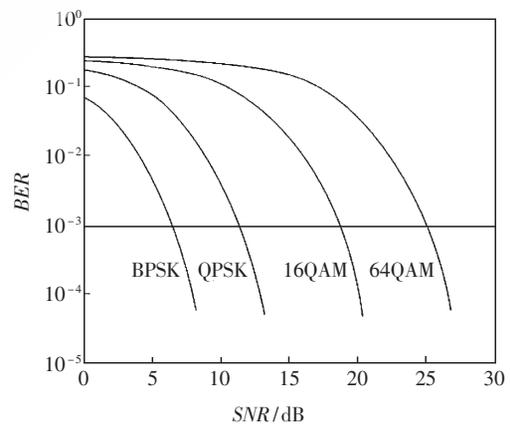


图2 几种调制方式的曲线

自适应算法的基本过程如图 3 所示。首先设定一个系统可承受的目标误码率 λ , 假设目标误码率为 10^{-3} , 把 10^{-3} 代入式(5)计算 BPSK、QPSK、16QAM 及 64QAM 四种调制方式在此误码率下的各个信噪比门限值 $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$; 接着利用式(4)计算每个子载波上的信噪比 SNR_k , 为了选择每一个子载波上的调制方式, 拿 SNR_k 与各门

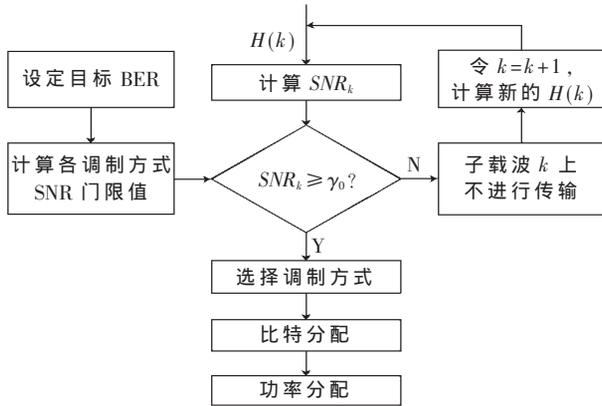


图3 自适应算法

限值一一比较,当 $SNR_k \geq \gamma_0$ 时,可以根据 SNR_k 落入的门限区间来选择相应的调制方式,例如 $\gamma_0 \leq SNR_k < \gamma_1$,子载波 k 上就选用 BPSK 作为调制方式。而当 $SNR_k < \gamma_0$ 时,说明此时的信道情况很恶劣,所以子载波 k 上不进行传输并不断根据变化的信道状态信息重复上述过程;然后根据选择的调制方式对每个子载波分配相应的比特数,例如 16QAM 调制方式分配 4 个比特;最后再对每一个子载波进行功率分配,即:

$$P_k = \frac{P_{\text{target}} \sigma_k^2 (2^{b_k} - 1)}{\sum_{k \in N} \sigma_k^2 (2^{b_k} - 1)} \quad (6)$$

各种调制方式与相应的 SNR 门限值和传输比特数的对应关系,如表 1 所示。

表 1 调制方式 SNR 门限值 传输比特数 一览表

调制方式	SNR	比特数
不传输	$SNR_k < \gamma_0$	0
BPSK	$\gamma_0 \leq SNR_k < \gamma_1$	1
QPSK	$\gamma_1 \leq SNR_k < \gamma_2$	2
16QAM	$\gamma_2 \leq SNR_k < \gamma_3$	4
64QAM	$\gamma_3 \leq SNR_k$	6

3 仿真结果及分析

在 Matlab 仿真软件平台上对 Fischer 算法与本文提出算法间的性能进行了仿真比较。图 4 为 Fischer 算法与本文提出算法间的性能比较。本文提出算法只需根据各个子载波的信道衰落用预先确定的信噪比门限选定各个子载波的调制方式,不需要任何迭代过程,因此算法复杂度比 Fischer 算法大为降低。从图中可看出在相同 SNR 下,本文提出算法能得到更低的误码率。

在 MIMO-OFDM 系统中,如果采用固定电平($m = \sqrt{M}$)调制方案,例如 16QAM 调制方式,可知每个子载波都携带 4 个码元,那么各个子载波所分配到的功率也都相同。为了保证系统的误码率性能,只能根据衰减最大的子信道来决定功率的分配,这样对信道资源造成了浪费。如果采用自适应调制方案,信噪比大的子载波就会

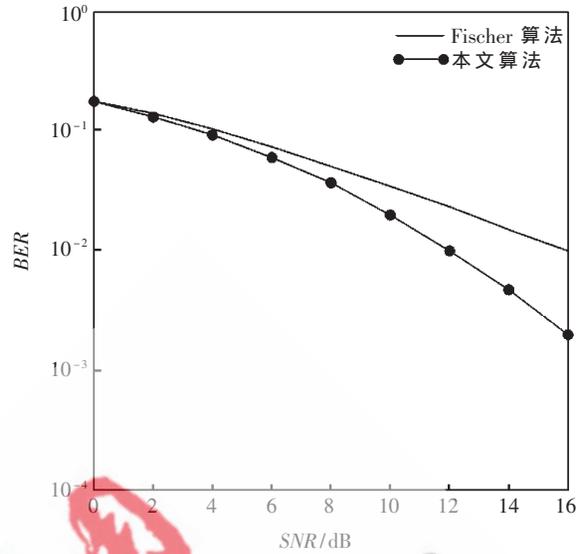


图4 两种算法的性能比较

分配到较多的比特数,而那些信噪比较小的子载波就会分配到较少的比特数,甚至几个信道质量特别差的子载波不传输任何比特。根据上述分析,该算法在保证信道质量所需误码率和总发射功率的前提下,按照各个子载波衰落情况动态地分配比特和功率,使系统的总数据速率最大,很好地改善了系统的整体性能。

为了增强 MIMO-OFDM 系统的整体性能,提供高数据传输率和高频谱利用率,避免资源浪费,本文提出一种新的自适应算法。该算法在信道传输质量满足一定系统误码率和总发射功率下,根据信道状态信息自适应地使每个子载波的调制方式在 BPSK、QPSK、16QAM 和 64QAM 之间自如切换,动态地分配比特和功率,使系统的总数据速率最大。理论分析得出,在满足 MIMO-OFDM 系统性能条件下,该算法能够降低系统运算复杂度,并使系统的整体性能得到了优化,体现出该算法的优越性。

参考文献

- [1] 王文博,郑侃.宽带无线通信 OFDM 技术[M].北京:人民邮电出版社,2003.
- [2] 佟学俭,罗涛.OFDM 移动通信技术原理与应用[M].北京:人民邮电出版社,2003.
- [3] 尹长川,罗涛,乐光新.多载波宽带无线通信技术[M].北京:北京邮电大学出版社,2004.
- [4] 谢显中,李祥明,唐宏,等.基于 TDD 的第四代移动通信技术[M].北京:电子工业出版社,2005.
- [5] 樊凌雁,何晨,冯国瑞.MIMO-OFDM 系统下的自适应迭代比特分配算法[J].通信学报,2007,28(11):65-70.
- [6] ALAMOUTI S M.A simple transmit diversity technique for wireless communications[J].IEEE Trans.on Commun.,1998,12(4):1451-1458.
- [7] CHOW P S,CIOFFI J M,BINGHAM J A C.A practical discrete multitone transceiver loading algorithm for data

transmission over spectrally shaped channels[J].IEEE Trans. on Commun., 1995, 43(2): 773-775.

[8] FISCHER R F H, HUBER J B. A new loading algorithm for discrete multitone transmission[A]. In: IEEE Globecom [C]. London, UK: 1996: 724-728.

[9] 王福昌, 熊兆飞, 黄本雄. 通信原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.

(收稿日期: 2010-08-17)

作者简介:

宁宁, 女, 1983年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 数据通信。

