

宽带MISO/OFDM传输系统的性能分析

邱永红

(南京总参第63研究所 南京 210007)

【摘要】提出了一种自适应比特和功率分配的宽带MISO/OFDM传输系统,建立了宽带MISO/OFDM传输系统的模型,并对该系统的最大子载波信噪比性能进行了分析。仿真结果表明在多径衰落信道下,与没有采用自适应比特和功率分配的传统发射分集OFDM传输系统相比,该系统的误比特性能得到明显的提高。

关键词 多输入单输出/正交频分复用; 传输系统; 自适应比特分配; 自适应功率分配
中图分类号 TN911 文献标识码 A

Performance Analysis of a Broadband MISO/OFDM Transmission System

QIU Yong-hong

(No.63 Research Institute of General Staff Nanjing 210007)

Abstract In this paper, we propose a broadband MISO/OFDM transmission system with adaptive bit and power allocation. The model of proposed system is established. The performance of maximal SNR on each sub-carrier of proposed system is analyzed. The simulation results show that the proposed system can achieve better performance compared with that of the conventional adaptive transmit diversity based OFDM systems without adaptive bit and power allocation over multipath fading channels.

Key words multiplex input single output/orthogonal frequency division multiplexing; transmission system; adaptive bit allocation; adaptive power allocation

OFDM技术是一种能抑制由于频率选择性衰落而引起的码间串扰(ISI),实现高速无线数据传输的有效调制技术,因此,将OFDM技术应用于移动通信系统中已越来越引起广泛的关注。近年来,人们着重研究寻找一些可以与OFDM结合使用,并且能提高其传输性能的技术。文献[1]提出了将自适应调制和OFDM技术相结合的自适应OFDM传输系统,在OFDM系统中的各个子载波上,根据其瞬间信噪比,通过自适应地采用不同的调制方案来增强OFDM系统的传输性能。自适应天线阵列被应用到OFDM系统^[2],根据信道特性自适应改变天线阵列的权值以抵消同信道干扰,从而有效地改善OFDM传输系统的性能。可以看出,自适应调制和自适应天线阵列均是基于发射端具备完全的信道状态信息(CSI),因此,这两种技术相结合可提高OFDM系统的传输性能。本文提出了基于自适应比特和功率分配的宽带MISO/OFDM传输系统。通过各子载波上的自适应比特和功率分配,在总功率和总比特率恒定的条件下,由自适应发射分集获得的最大子载波信噪比可得到进一步的最大化。为了验证所提出系统的有效性,本文给出了相应的仿真结果,同时也给出了信道估值误差对系统的影响。

1 传输系统

1.1 模型建立

图1为基于自适应比特和功率分配的宽带MISO/OFDM传输系统的模型。工作过程如下:

(1) 在发射端,二进制数据源 $d = [d_0, d_1, \dots, d_{N-1}]$ 经过自适应比特和功率分配器后,产生复数符号输出。在自适应映射中,二进制串行输入数据流被自适应地分成 Md (2、4、6或0)比特的数组,并转化成代表4QAM、

收稿日期: 2004-12-23

基金项目: 通信抗干扰技术国家级重点实验室基金资助项目(514340103JB5001)

作者简介: 邱永红(1964-),女,博士,高级工程师,主要从事通信宽带移动通信等方面的研究。

16QAM和64QAM(QAM为正交调幅)星座点的复数符号数据。串/并转换单元将复数符号数据转换成 N 个并行输出符号,这些并行输出符号在频域上代表 N 个并行子载波。自适应发射分集单元对每个子载波实现 M 个发射天线阵的加权运算,快速傅里叶反变换(IFFT)将加权运算后的复数符号数据转换成时域抽样值。抽样值经过并/串转换和长度为 G 波特的循环扩展后,通过 M 个天线发射。

(2) 在接收端,来自接收天线的各子载波上的符号输出经再加权和合并后,形成接收输出数据串 $\hat{d}=[\hat{d}_0,\hat{d}_1,\dots,\hat{d}_{N-1}]$ 。这里假定发射机和接收机通过信道边信息,实现自适应比特和功率分配器中的比特映射信息传输,接收机可以完全地解调出每个子载波上的比特映射信息。发送的数据经接收估值和并/串转换后,恢复成串序二进制数据流。

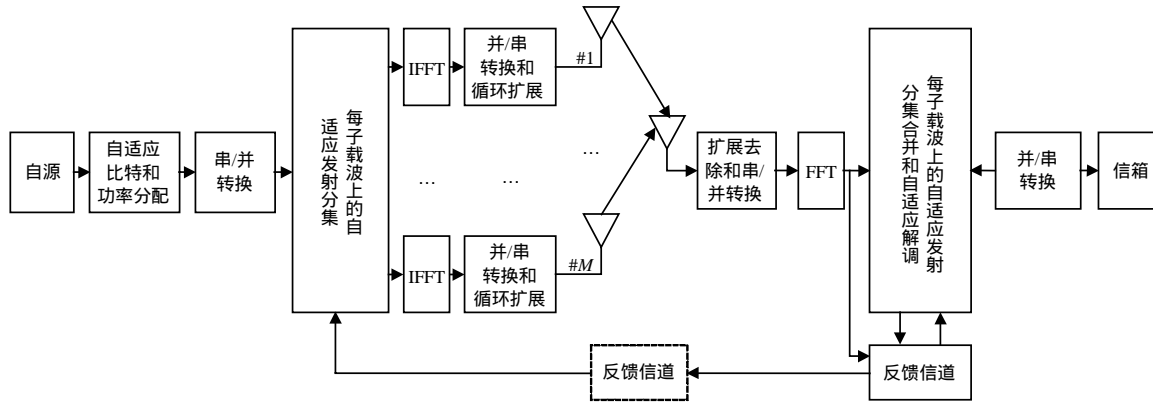


图1 宽带MISO/OFDM传输系统模型

1.2 性能分析

MISO/OFDM多径衰落无线信道由 L -径脉冲响应函数表示^[3]：

$$h_m(t) = \sum_{j=0}^{L-1} \gamma_m^j \delta(t - \tau_m^j) \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

式中 τ_m^j 是第 m 个发射机和接收天线间分集信道的第 j 个路径时延； γ_m^j 是与其相对应的复数增益； L 是总的路径数。所有 γ_m^j 模型化为不同路径间相互独立的、零均值平稳高斯过程。

设矢量 $\mathbf{H}^i = (H_1^i, H_2^i, \dots, H_M^i)^T$ 为 $\tilde{\mathbf{h}}(n) = (\tilde{h}_1(n), \tilde{h}_2(n), \dots, \tilde{h}_M(n))^T$ 的离散时间信道矢量在第 i 个子载波上的傅里叶变换。 $\tilde{h}_m(n)$ 代表 $(g \otimes h_m)|_{t=nT}$ ，其中 $g(t)$ 是发射端的脉冲成形函数， \otimes 代表两个连续时间信号之间的卷积运算。设 $\mathbf{W}_i^i = [w_{i,1}^i, w_{i,2}^i, \dots, w_{i,M}^i]^T$ 为第 i 个子载波上的发射加权系数矢量，那么，在第 i 个子载波上的接收信号 \hat{d}_i 可以写成：

$$\hat{d}_i = (\mathbf{H}^i)^T \cdot \mathbf{W}_i^i \cdot d_i + n_i \quad (2)$$

式中 n_i 为方差 σ_n^2 的复AGWN。因此，第 i 个子载波信号的接收SNR可以写成：

$$SNR_i = \frac{E(|d_i|^2)}{\sigma_n^2} [(\mathbf{W}_i^i)^H \cdot ((\mathbf{H}^i)^* \cdot (\mathbf{H}^i)^T) \cdot (\mathbf{W}_i^i)] \quad (3)$$

在总发射功率恒定的约束条件下，最大化 SNR_i 的最佳发射加权矢量表示为：

$$(\mathbf{W}_i^i)_{opt} = \arg \max_{\|\mathbf{w}_i^i\|=1} (SNR_i) = \frac{1}{\sqrt{\text{Tr}[(\mathbf{H}^i)^* (\mathbf{H}^i)^T]}} [(\mathbf{H}_1^i)^*, (\mathbf{H}_2^i)^*, \dots, (\mathbf{H}_M^i)^*]^T \quad (4)$$

式中 $\text{Tr}[\mathbf{A}]$ 是矩阵 \mathbf{A} 的迹。将式(4)代入式(2)，得到第 i 个子载波的接收信号 \hat{d}_i ：

$$\hat{d}_i = \sqrt{\text{Tr}[(\mathbf{H}^i)^* (\mathbf{H}^i)^T]} \cdot d_i + n_i = \|\mathbf{H}^i\| \cdot d_i + n_i \quad (5)$$

从式(5)看出，MISO/OFDM系统的第 i 个子载波接收信号是由等效信道增益 $\|\mathbf{H}^i\|$ 加权的发射信号，加上一个等效的加性白色高斯噪声 n_i 而得到的。因此，可以根据信道响应矢量 \mathbf{H}^i 的欧氏范数的平方来选择调制模式。

对于比特速率由于语音压缩算法而固定的话音和实时多媒体数据,信道传送比特速率是恒定的。这种固定传输流量的自适应算法,其目标是在总功率和总比特率恒定的条件下,极大化由自适应发射分集所获得的最大子载波信噪比。定义 \mathbf{B} 是由非零比特 b_i 所组成的矢量, b_i 是映射到第 i 个子信道的比特数目; \mathbf{P} 是由 b_i 比特所对应的功率 P_i 所组成的矢量, P_i 是分配到第 i 个子信道上的功率。将自适应算法公式化为 \mathbf{B} 和 \mathbf{P} 的最大化:

$$(SNR_i)_{\max} = \frac{E(|d_i|^2) \cdot \|\mathbf{H}^i\|^2}{\sigma_n^2} \quad (6)$$

约束条件为:

$$k_1 = \sum_{i=1}^N b_i - B_t = 0 \quad (7)$$

$$k_2 = \sum_{i=1}^N P_i - P_t = 0 \quad (8)$$

式中 $B_t = \sum_{i=1}^N b_i$ 是数据通流量; $P_t = \sum_{i=1}^N P_i$ 是给定的发射总功率。

通过采用拉格朗日乘法算子方法^[5],可得到最佳比特分配及其相应的最佳功率分配。设 N' 为用来调制信号的子信道数目, S 为所有这些相应的子信道号的集合,则上述最大化问题的最佳解可以描述为^[4]:

$$b_i = \frac{B_t}{N'} + \frac{1}{N'} \cdot \log_2 \left\{ \frac{\prod_{i \in S} \frac{1}{\|\mathbf{H}^i\|^2}}{\left(\frac{1}{\|\mathbf{H}^i\|^2} \right)^{N'}} \right\} \quad i \in S \quad (9)$$

$$P_i = \frac{\left(\frac{1}{\|\mathbf{H}^i\|^2} \right) \cdot 2^{b_i}}{\sum_{i \in S} \left(\frac{1}{\lambda \|\mathbf{H}^i\|^2} \right) \cdot 2^{b_i}} \cdot P_t \quad i \in S \quad (10)$$

2 仿真研究

为了验证宽带MISO/OFDM传输系统的优越性,本文对系统的误比特性能进行计算机仿真,具体仿真了具有128个子载波的OFDM系统在典型城市(Typical Urban, TU)频率选择性瑞利衰落信道上传输性能,并且与采用固定QAM调制的传统自适应发射分集OFDM系统的性能进行了比较。在一个OFDM数据组中,每个子载波将分配2、4、6或0 bit,具体比特数取决于其相应子信道的质量,即在每一个子载波上的调制模式将是QAM、16 QAM、64 QAM或者不传送任何信息。

2.1 不同OFDM系统误比特性能的仿真

设传输系统的频带利用率为2 bit/s/Hz。图2表示在多种发射天线数目 M 时,该系统对于不同平均比特信噪比 $SNR(E_b/N_0)$ 下的误比特率(BER)。为了方便比较,图2也给出了没有采用自适应比特和功率分配的传统自适应发射分集OFDM系统的误比特率性能,以及没有采用自适应发射分集的传统自适应OFDM系统的误比特率性能,图中,横轴为平均比特信噪比/dB,纵轴为误比特率; \square 表示所提出系统的误比特率性能,*表示传统自适应发射分集OFDM系统的误比特率性能;OFDM without transmit diversity 表示无发射分集的OFDM。

没有采用自适应比特和功率分配的传统自适应发射分集OFDM系统是指调制方式采用固定QAM调制的OFDM系统,而没有采用自适应发射分集的传统自适应OFDM系统是指单发射天线的OFDM系统。从图2的仿真结果可以清楚地看出,该系统较上述两种传统的OFDM系统有较大的性能改善。通过采用自适应比特和功率分配算法,两个发射天线分集($M=2$)OFDM系统,在BER为 10^{-5} 时可以获得10 dB的SNR增益;对于4个

发射天线分集($M=4$)OFDM系统,在BER为 10^{-5} 时可以获得3 dB的SNR增益。需要指出的是,随着发射天线数目的增加,所提出的系统的性能改善增益会下降。这是因为随着发射天线数目的增加,与传统的自适应发射分集OFDM系统相比,所有子载波的信道增益变化会变得越来越不明显,因此所有子载波中的深衰落数目将越来越少,从而导致自适应比特功率分配系统增益的相应下降。

2.2 信道估值误差对BER性能影响的仿真

图2中的所有结果假设了理想的信道估值。与传统的基于自适应天线的OFDM系统相比,图2可以充分地表明所提出系统的潜在性能增益。然而,在实际的时分复用(TDD)或频分复用(FDD)系统中,由于信道估值误差和移动信道的时变特性,估值误差会导致在基于信道估值上的发射权值和调制模式与实际信道所应有的发射权值和调制模式间的不理想信道匹配。为了得到估值误差对所提出系统的影响,本文对该系统估值误差的敏感性进行了仿真。

图3给出了该系统在多种发射天线数目情况下,通过TU信道时信道估值误差对其的影响,图中,实线和虚线分别表示所提出的系统和传统自适应发射分集OFDM系统的性能; \circ 表示理想信道估值, $*$ 表示均方误差。在均方误差为1%的信道估值误差下^[5],与没有采用自适应比特功率分配的传统自适应发射分集OFDM系统相比,所提出系统对信道估值误差更敏感一些。从图中还可看出,所提出系统仍然比理想信道下的传统自适应发射分集OFDM系统有较好的SNR增益。通过采用自适应比特和功率分配算法,对 $M=2$ 的OFDM系统,在BER为 10^{-5} 时依然可以获得大约7 dB的SNR增益;对于 $M=4$ 的OFDM系统,在BER为 10^{-5} 时依然可以获得大约2.5 dB的SNR增益。因此,可以得出结论,本文系统在实际中仍然可以很好地工作。

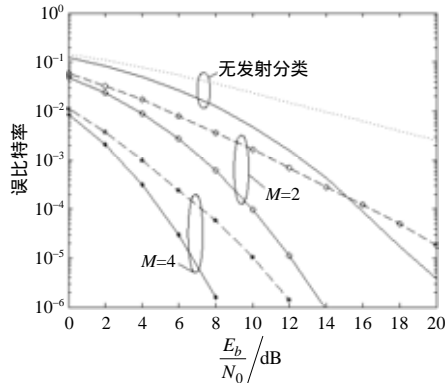


图2 不同OFDM系统的误比特性能

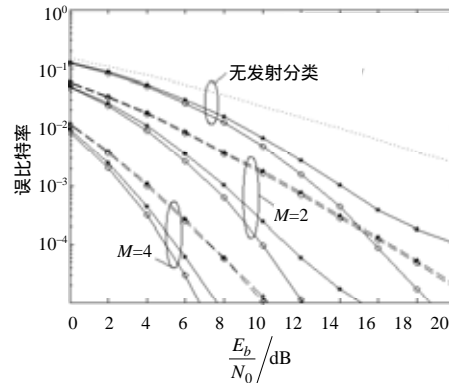


图3 信道估值误差对BER性能的影响

3 结束语

为了满足未来无线通信的要求,本文提出了基于自适应比特和功率分配的宽带MISO/OFDM传输系统。与没有采用自适应比特和功率分配的传统发射分集OFDM传输系统相比,本文所提出的自适应宽带MISO/OFDM传输系统获得了更好的误比特性能。

参 考 文 献

- [1] Wong C. Y, Cheng R. S-K, Letaief K. B. Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit, and power allocation[J]. IEEE J. Select. Areas Commun., 1999, 17(10): 1747-1758.
- [2] Lee Y, Sollenberger N. R. Adaptive antenna arrays for OFDM systems with cochannel interference[J]. IEEE Trans. Commun., 1999, 47(3): 217-229.
- [3] QIU Yong-hong, PAN Ya-han. Adaptive bit and power allocation with adaptive transmit diversity for broadband MISO/OFDM wireless transmission[C]//IEEE International Conference on Neural Network & Signal Processing, Nanjing, 2003.
- [4] Qiu Yong-hong, Pan Ya-han, Cao Zhi-gang. Constant rate adaptive modulation with selection transmit diversity for broadband OFDM wireless systems[C]//PIMRC2003, Beijing, 2003.
- [5] Pan Y H, Letaief K B, Cao Z. Dynamic sub-channel allocation with adaptive beamforming for broadband OFDM wireless systems[C]//IEEE Globecom'2002, Taipei, 2002.