

# 利用 CPM 实现自适应 OFDM 系统研究

杨雪梅, 顾亚平, 张 俊

(中国科学院声学研究所东海研究站, 上海 200032)

**摘要:** 在正交频分复用(OFDM)系统中应用自适应技术能有效地提高系统性能。正交频分复用-连续相位调制(OFDM-CPM)通过 CPM 相关相位状态引入记忆, 从而获得比传统 OFDM 更好的误码性能。文章提出了一种利用单一的 CPM 调制方式实现自适应 OFDM-CPM 系统的新方案。仿真结果表明, 选取最佳的 CPM 参数组合, 通过改变 CPM 的参数来实现自适应 OFDM-CPM 调制, 能够获得比传统调制方式要低的门限值, 同时系统硬件实现更为简单。

**关键词:** 正交频分复用-连续相位调制; OFDM-CPM; 自适应调制

**中图分类号:** TB556

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-3630(2007)-03-0510-04

## A novel CPM scheme for adaptive modulation based OFDM system

YANG Xue-mei, GU Ya-ping, ZHANG Jun

(Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai, 200032, China)

**Abstract:** Application of adaptive technique can effectively improve the system performance of OFDM systems. By using the concept of correlated phase state, OFDM-CPM has better BER performance than traditional OFDM. A new adaptive modulation scheme is proposed to use single CPM based on OFDM-CPM system. Simulation results show that an adaptive OFDM-CPM system can be realized via selecting the optimal CPM parameters and changing these parameters. A lower threshold value can be obtained compared with systems using the traditional modulation. Hardware implementation is easy.

**Key words:** OFDM-CPM; adaptive modulation

## 1 引 言

正交频分复用<sup>[1,2]</sup>OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 技术可以有效地对抗信号波形间干扰, 具有优异的抗噪声性能和抗多径衰落的能力, 频谱利用率高, 适合于存在多径传播和多普勒频移的无线移动信道中高速传输数据, 并被认为是下一代无线通信的核心技术。

一个典型的 OFDM 系统所面临的信道, 一般是频率选择性的同时又是时变的。因此有必要在 OFDM 系统中对每个子载波自适应地采用不同的调制方式。自适应调制就是提高频谱利用率的一

种技术, 它根据无线信道的时变特性动态改变自己的调制参数。这些调制参数包括发射功率、符号率、编码率、编码方式和星座集的大小等。OFDM 系统的自适应技术包括下面三个关键过程: 信道估计<sup>[3,4]</sup>, 调制参数选择, 信令传输。信道估计的目标是要得到信道的即时情况; 调制参数选择部分则是基于对下一次传输的信道特性的预测, 为每个子信道选择合适的调制方式。对于本文提出的新的自适应调制系统, 将主要考虑根据信道特性动态调整调制方式的问题, 而不考虑其它参数的自适应改变。信令传输要解决的是如何让对方知道自己所使用参数的问题。

已经有很多将多载波和自适应调制技术结合起来研究。Steele 和 Webb 中提出了一种突发的自适应 QAM 结构<sup>[5]</sup>。Chow 等将 AQAM 和 OFDM 结合起来设计了自适应正交频分复用 AOFDM<sup>[6]</sup>调制解

收稿日期: 2006-11-30; 修回日期: 2007-02-10

作者简介: 杨雪梅(1979-), 女, 吉林扶余人, 博士研究生, 研究方向为无线通信中的信号与信息处理。

通信作者: 杨雪梅, E-mail: yangxm049@163.com

调制器。文献[7]研究了选择 PSK, QAM, GMSK 等调制方式的自适应调制系统, 信道情况好可以选择较高阶的 16QAM 等调制方式, 信道情况差则通过选择低阶的 BPSK 来保证要求的误码性能。

OFDM-CPM<sup>[8]</sup>系统利用了 CPM 信号相位连续的特点, 其最大的优势是通过选择适合的调制参数  $h$ , 可以系统的引入相邻 OFDM 符号间的相关性, 从而提高系统性能。本文提出了一种利用 CPM 实现自适应 OFDM 调制的方案。通过选择不同 CPM 的调制参数, 来选择在不同子载波上的调制方式。利用固定门限适配法, 分析了 OFDM-CPM 自适应调制系统的特性, 并给出了仿真结果。

## 2 OFDM-CPM 信号

OFDM-CPM 发送端的结构如图 1 所示, 可以看出, 一系列的串行数据流  $b_i, i=1, 2, \dots$ , 先通过串并转换器转换为  $N$  比特一组的数据块  $a_{k,p}, k=1, 2, 3, \dots, p=0, 1, 2, \dots, N-1$ 。这里  $N$  为子载波数, 以二进制 OFDM-CPM 信号为例,  $a_{k,p} = \pm 1$  分别表示二进制比特流  $b_i$  为 1 和 0。例如  $a_{1,p}$  表示第一组数据块,  $a_{2,p}$  表示第二组数据块, 以此类推。然后 CPM 映射器将输入的数据块  $\{a_{k,p}\}$  转换为一系列适合的复合数据组  $\{c_{k,p}\}$ ,

$$c_{k,p} = \cos(\theta_{k,p}) + j\sin(\theta_{k,p}) \quad (1)$$

而

$$\theta_{k,p} = \begin{cases} a_{k,p}\pi h + \pi h \sum_{q=0}^{k-1} a_{q,p} + \phi, & k > 1 \\ a_{1,p}\pi h + \phi & k = 1 \end{cases} \quad (2)$$

这里  $h$  是 CPM 的调制指数,  $\phi$  代表初始相位, 为不失一般性这里设为零。由于 CPM 的记忆特性,  $\theta_{k,p}$  不仅和当前的数据有关, 还受先前发送数据的约束。OFDM-CPM 基带调制信号表示为:

$$x(t) = \sum_k \sum_p c_{k,p} g(t - kT) e^{j\frac{2\pi}{T}pt}, 0 \leq t < \infty \quad (3)$$

脉冲成型函数为:

$$g(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{T}}, & -T_g \leq t \leq T_g \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

上面两个公式中,  $T$  是 OFDM 的符号周期,  $T_g$  是保护间隔。当  $L > 1$  得到部分响应信号, 当  $L = 1$  得到全响应信号。

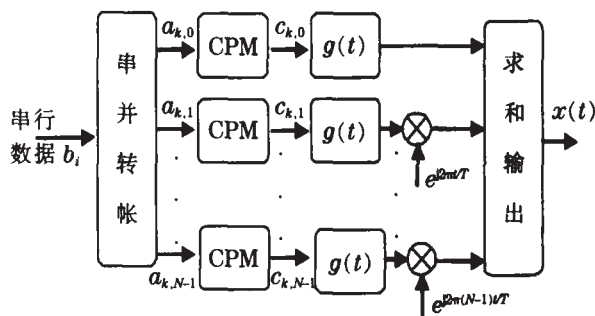


图 1 OFDM-CPM 发送端框图

Fig.1 The transmitter of OFDM-CPM system

## 3 自适应 OFDM-CPM 系统模型

本文提出的自适应 OFDM-CPM 系统如图 2 所示, 二进制串行数据首先经过信道编码, 串并转换后送到 CPM 调制器。自适应 CPM 调制器按照调制参数控制器告知的每个子载波上的调制方式进行符号映射。这里每个子载波可以选择的调制方式是不同参数  $(M, L, h)$  对应的 CPM。OFDM 调制过程中将频域信号  $S_n$  转换为时域信号  $s_n, 0 \leq n < N-1$ , 然后加上保护间隔后调制到载波上送入信道。

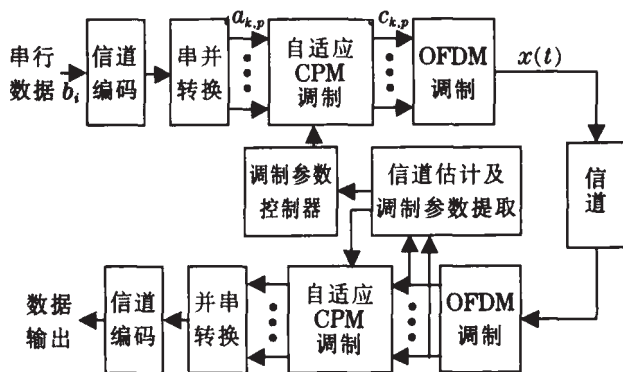


图 2 自适应 OFDM-CPM 系统模型框图

Fig.2 The adaptive OFDM-CPM system

接收端的过程和发送端相反, 接收机要从接收到的数据中估计出信道的特性。本文的自适应调制系统是上行链路与下行链路使用相同的信道, 因而接收机将利用估计的信道值决定本身下一帧数据所使用的调制参数。以下的讨论都假定信道估计是理想的, 即获得的信道状态信息是完全准确的。

假定信道是慢时变的, 那么信道脉冲响应可以用它的  $N$  点的傅立叶变换  $H_n$  来表示,  $H_n$  可以称为频域传递函数。接收信号  $R_n$  可以表示为:

$$R_n = S_n \cdot H_n + n_n \quad (5)$$

其中  $n_n$  为加性高斯白噪声信道。估计是完全的并且没有子载波间干扰和窄带干扰, 那么定义伪信

噪比:

$$\gamma_n = |H_n|^2 \cdot \gamma'_n \quad (6)$$

$\gamma'_n$  是整个 OFDM 符号的信噪比, 在没有子载波间干扰和窄带干扰的假设情况下,  $\gamma_n$  就是每个子载波输出端的符号信噪比。它决定了该子信道上的误比特率<sup>[7]</sup>。可以利用  $\gamma_n$  来决定下一帧发送数据时该子载波所采用的调制方式。在实际系统中所采用的调制方式是事先确定好的, 本文采用固定门限适配法<sup>[9,10]</sup>。固定门限适配法就是和事先确定的信噪比门限比较, 符合某个门限时就用相应的调制方式。

## 4 算法性能分析及仿真

自适应调制根据实际的信道特征和用户的 QoS 约束, 动态改变系统所使用的调制方式。理想情况下, 可以在每个子载波上单独进行自适应调制。但是在实际的系统中, 当子载波个数较大时, 比如 IEEE 802.16d 标准中规定的子载波数目分别为 256 或 2048, 分配算法比较复杂, 同时信令开销也很大。所以本文仿真中, 链路自适应只是在时域进行, OFDM 所有子载波上的调制方式和编码方式是同时变化的。

信噪比门限值的选择是固定门限适配法的关键, 通常信噪比门限是在长期目标误比特率下所需的信噪比, 它可以由实验中得出也可以由理论分析得到近似值。当然根据不同仿真分析的长期目标误比特率, 得到不同的信噪比门限值。在 MATLAB/SIMULINK 环境下, 图 3 是子载波数  $N=1024$ ,  $M=4$ ,  $L=2$ , AWGN 信道下, 不同 CPM 参数下 OFDM-CPM 和 OFDM-QPSK 的误码性能。

可以看出, 对于 OFDM-CPM 系统, 不同的调制参数决定了不同的系统特性, 而且相差比较悬殊,  $h=3/7$  是最佳的选择。和 OFDM-QPSK 系统的性能比较, 在较高信噪比下, CPM 调制方式下的 OFDM 要比传统的 QPSK 调制方式具有更好的误码性能, 从而对于固定的长期目标误码比特率, OFDM-CPM 系统相对 OFDM 系统具有更低的信噪比门限。例如对应  $10^{-4}$  的目标误码率, 最优参数的 CPM 要比 QPSK 具有将近低 2dB 的门限值。

图 4 给出的是瑞利信道下最优参数的 OFDM-CPM 和传统 OFDM 的误码率。信道模型采用瑞利信道, 该模型是目前对多径信道最好的描述。可以看出达到同样的目标误码率  $10^{-4}$ ,  $M=4$  的 CPM 调制方式要比  $M=2$  时需要更高的信噪比。同时得到两

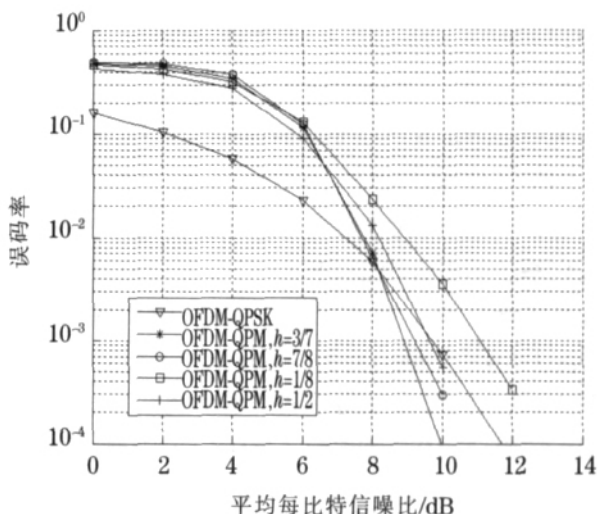


图 3 AWGN 信道下不同调制指数 OFDM-CPM 和 OFDM 的误码率

Fig.3 BER of OFDM-CPM system with different modulation parameter  $h$  and OFDM on AWGN channel

组最佳的 CPM 参数,  $M=2$ ,  $h=0.715$ , 和  $M=4$ ,  $h=3/7$ 。这两种参数对应的 CPM 调制方式能达到最优的误码性能。

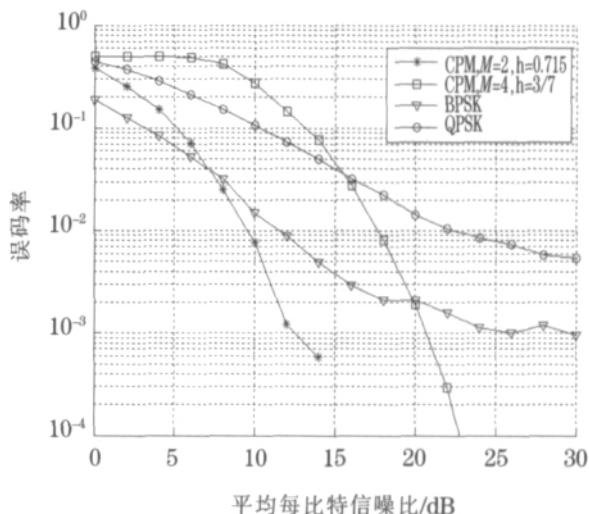


图 4 瑞利信道下最佳参数的 OFDM-CPM 和 OFDM 的误码率  
Fig.4 BER of OFDM-CPM with optimum parameters and OFDM on Rayleigh channel

基于以上的仿真结果, 自适应调制方式确定为最佳参数组合确定的 CPM 调制。当选择参数  $M=2$ ,  $h=0.715$  的 CPM 时, 数据速率为 6Mbit/s, 当选择  $M=4$ ,  $h=3/7$  的 CPM 时, 数据速率为 12Mbit/s。

## 5 结 论

本文利用单一的 CPM 调制代替传统的 PSK、QPSK、QAM 等调制方式, 构建了自适应 OFDM-CPM 调制系统。通过选择不同 CPM 的调制参数来

选择不同的调制方式和性能。给定同样的目标误码率, 高阶的 CPM( $M=4$ ) 调制方式要比低阶的 CPM( $M=2$ ) 需要更好的信道状况。在本文的仿真条件下,  $M=2, h=0.715$  和  $M=4, h=3/7$  是两组最佳的参数组合, 因此选择这两组参数对应的 CPM 调制方式构建新的自适应 OFDM-CPM 调制系统。根据信道的变化在这样两个调制方式中动态的转换, 就实现了在系统传输性能一定的前提下, 实现了信息传输速率的最大化。由于 OFDM-CPM 较好的误码性能, 能获得比传统调制方式更低的域值门限。同时由于单一的调制方式, 系统实现会更为简单。

### 参 考 文 献

- [1] Nee R V, Prasad R. OFDM for wireless multimedia communications[M]. Norwood, MA: Artech House Publishers, 2000.
- [2] 孙海信, 顾亚平. OFDM 系统的一种精确的符号定时估计[M]. 声学技术, 2006, 25(1): 6-9.
- [3] Coleri S, Ergen M, Puri A, et al. Channel estimation techniques based on pilot arrangement in OFDM systems[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2002, 48(3): 223-229.
- [4] Minn H, Bhargava V K. An investigation into time-domain approach for OFDM channel estimation[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2000, 46(4): 240-248.
- [5] Steele R, Webb W. Variable rate QAM for data transmission over Rayleigh fading channels[M]. in Wireless. Calgary, Alberta, Canada: IEEE, 1991, 1-14.
- [6] 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. Commun., 1995, 48: 772-775.
- [7] Keller T, Hanzo L. Adaptive modulation techniques for duplex OFDM transmission[J]. IEEE Trans. Vehicular Technology, 2000, 49(5): 1893-1906.
- [8] Imran A, Tasadduq, Raveendra K. Rao. OFDMCPM Signals[J]. Electronics Letters, 2002, 38(2): 80-81.
- [9] Torrance J M. Adaptive full response digital modulation for wireless communication environments[D]. Ph. D. dissertation, Univ. of Southampton, Southampton, U. K., 1997.
- [10] Torrance J, Hanzo L. Optimization of switching levels for adaptive modulation in slow Rayleigh fading[J]. Electron. Lett., 1996, 32(6): 1167-1169.