

OFDM-TDD开环AM的信令传输

周明宇¹, 李立华¹, 张平¹, 王海峰², 钟明华¹, 刘翔¹, 陶小峰¹

(1. 北京邮电大学泛网无线通信教育部重点实验室 北京 海淀区 100876; 2. 诺基亚技术平台 上海 黄浦区 200002)

【摘要】传统信令传输方法将信令符号置于固定子载波传输而可靠性受限。提出了一种正交频分复用-时分双工(OFDM-TDD)开环自适应调制(AM)系统的信令传输方法,该方法将采用二进制相移键控(BPSK)的信令符号置于自适应块中信道条件最好的子载波,并在接收端利用BPSK的特殊性检测信令所在子载波而恢复出信令,从而保证信令的可靠传输。理论分析和仿真结果表明,该方法能够大大增强信令传输的可靠性,并提升系统吞吐量。

关键词 自适应调制; 开环; 正交频分复用; 时分双工
中图分类号 TN911.22 文献标识码 A

Signaling Transmission for OFDM-TDD Open Loop AM

ZHOU Ming-yu¹, LI Li-hua¹, ZHANG Ping¹, WANG Hai-feng², ZHONG Ming-hua¹,
LIU Xiang¹, and TAO Xiao-feng¹

(1. Key Laboratory of Universal Wireless Communications, Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications Haidian Beijing 100876;
2. Technology Platform, Nokia Huangpu Shanghai 200002)

Abstract An orthogonal frequency division multiplexing – time division duplex (OFDM-TDD) open-loop adaptive modulation (AM) system is proposed. In this system signaling symbols modulated with binary phase shift keying (BPSK) are put on the best sub-carriers in adaptive blocks. In the receiver, signaling can be recovered after the sub-carriers carrying signaling are detected utilizing the specialty of BPSK. Theoretical analysis and simulation results indicate that, the proposed method can enhance reliability of signaling transmission greatly and improve system throughput.

Key words adaptive modulation; open loop; orthogonal frequency division multiplexing; time division duplex

正交频分复用(OFDM)技术能够对抗信道的多径效应并消除符号间干扰^[1-2],自适应调制(AM)技术能够根据信道状态信息(CSI)自适应改变链路参数以提升系统性能^[3-5],这两种技术都成为未来无线通信系统的关键技术,它们的结合能够进一步提高系统性能^[6-7]。时分双工(TDD)系统的上、下行采用相同的频带进行传输,从而上、下行信道衰落存在对称性,这一特点有利于实现开环自适应调制^[8]。对于一个OFDM-TDD开环AM系统,信令的正确传输决定了该自适应块的正确解调,因此信令的传输可靠性十分重要^[9]。传统的方法将信令置于自适应块的固定子载波进行传输,信令的可靠性不够高而限制了系统吞吐量。

本文提出一种OFDM-TDD开环AM系统的信令传输方法,仿真验证表明,能够大大增强信令传输

的可靠性,并提升系统吞吐量。

1 OFDM-TDD系统开环AM模型

在TDD系统中,上、下行采用相同的频带进行传输,从而上、下行信道衰落存在对称性,这一特点有利于实现开环AM,其能够及时根据信道的变化进行自适应调节,以较低的复杂度实现快速自适应从而增强系统效率,在TDD系统中具有很大的应用前景。如图1所示,开环AM的数据流程为:上(下)行传输利用下(上)行接收获得的CSI,在发射端决定自适应块采用的调制方式,根据该调制方式对数据进行调制,并将含有调制方式信息的信令与数据合并发送;接收端接收到信号之后解调信令获取调制方式信息,根据信令解调数据符号,从而恢复出信源数据,并获取上(下)行CSI以决定下(上)行采用的

收稿日期: 2007-05-29; 修回日期: 2007-12-23

基金项目: 国家863项目(2006AA01Z283)

作者简介: 周明宇(1982-),男,博士生,主要从事无线通信链路自适应技术方面的研究。

调制方式。

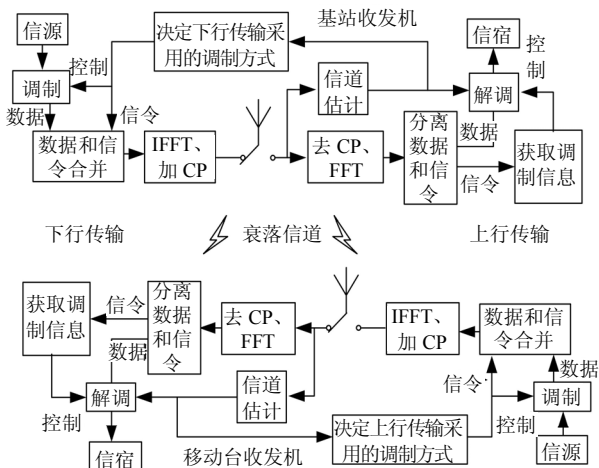


图1 OFDM-TDD开环自适应调制系统

AM-OFDM系统能够根据CSI进行自适应调制，对CSI较差的子载波采用低阶调制方式，对CSI较好的子载波采用高阶调制方式，从而在保证传输可靠性的前提下提升系统的吞吐量。在AM-OFDM系统中，若对每子载波自适应调节，则用于传递子载波所采用调制方式的信令开销较大，因此目前常用基于子带的AM-OFDM系统^[7]。考虑一个AM-OFDM系统，设一帧包含M个OFDM符号，频带B被分为N个子载波，这些子载波被划分为 $K = N/N_S$ 个子带，每个子带包含 N_S 个相邻子载波，M个OFDM符号中的 N_S 个子载波构成一个自适应块，则一帧中包含K个自适应块；同一个自适应块中的所有数据传输单元采用相同的调制方式。由于上、下行传输对称，下面以下行传输为例进行说明。设一帧中第j个OFDM符号的第i个子载波上收到的信号 $R_{i,j}$ 可以表示为：

$$R_{i,j} = T_{i,j} H_{i,j} + n_{i,j} \quad (1)$$

式中 $T_{i,j}$ 表示发送端的频域已调符号； $H_{i,j}$ 表示对应的信道传输函数； $n_{i,j}$ 表示加性高斯白噪声(AWGN)，方差为 $E[|n_{i,j}|^2] = \sigma^2$ 。设 $T_{i,j}$ 的平均功率为P，则接收到的信号的信噪比(SNR)为：

$$\gamma_{i,j} = |H_{i,j}|^2 P / \sigma^2 \quad (2)$$

对于第k ($k=1,2,\dots,K$)个自适应块，基站通过上行传输获知信道衰落并计算 $\gamma_{i,j}$ ，从而计算该自适应块的平均SNR：

$$\gamma(k) = \sum_{i,j \in \Omega_k} \gamma_{i,j} / MN_S \quad (3)$$

式中 $\Omega_k = \{(i,j) \mid i=(k-1)N_S+1, (k-1)N_S+2, \dots, kN_S; j=1,2,\dots,M\}$ ，并根据 $\gamma(k)$ 确定第k个自适应块的调制方式。本文所采用的备选调制方式为QAM调制，参数如表1所示，给出了为使传输误码率低于 10^{-3} ，各

种备选调制方式的应用条件。

表1 备选调制方式相关参数及应用条件

调制方式	吞吐量/bit-symbol ⁻¹	应用条件
不传输	0	$\gamma(k) \leq 9.78$ dB
QPSK	2	9.78 dB $\leq \gamma(k) \leq 16.52$ dB
16QAM	4	16.52 dB $< \gamma(k) \leq 22.52$ dB
64QAM	6	$\gamma(k) > 22.52$ dB

2 OFDM-TDD开环AM系统的信令传输方法

2.1 传统信令传输方法

由于信道的时变性，发送端已获取的CSI与自适应传输过程中的信道状况存在差异，因此需要信令将各自适应块所采用的调制方式的信息传递到接收端。假设每个自适应块中信令信息共有W个比特 $U_w(w=1,2,\dots,W)$ 。由于信令信息决定该自适应块是否能被正确解调而具有较高重要性，因此在发送端常常对信令进行重复编码(设对每个比特进行B次重复编码)，并经过BPSK调制形成已调符号。对于第k个自适应块有：

$$\begin{cases} Y_w = 1 - 2U_w \\ S_{w+bW} = Y_w \quad b=0,1,\dots,B-1 \end{cases} \quad (4)$$

在传统信令传输方法中，信令被置于固定子载波进行发送；假设信令被置于每个自适应块的第一个子载波上传输，若 $l = (k-1)N_S + 1$ ，则有：

$$T_{l,w+bW} = S_{w+bW} \quad (5)$$

在接收端，首先对经过信道衰落后接收到的信令符号进行最大比合并，得到：

$$\hat{Y}_w = \frac{\sum_{b=0}^{B-1} R_{l,w+bW} H_{l,w+bW}^*}{\sum_{b=0}^{B-1} |H_{l,w+bW}|^2} = Y_w + n'_w \quad (6)$$

式中 $n'_w = \frac{\sum_{b=0}^{B-1} n_{l,w+bW} H_{l,w+bW}^*}{\sum_{b=0}^{B-1} |H_{l,w+bW}|^2}$ ；方差为 $\sigma'^2 =$

$\sigma^2 / \sum_{b=0}^{B-1} |H_{l,w+bW}|^2$ 。按式(7)判决恢复出的信令信息为：

$$\hat{U}_w = \begin{cases} 1 & \text{若 } \hat{Y}_w < 0 \\ 0 & \text{若 } \hat{Y}_w \geq 0 \end{cases} \quad (7)$$

在上述系统中，由于信令被置于固定子载波，而信道衰落具有时变性和随机性，因此信令传输的可靠性不高，从而限制了系统性能。

2.2 自适应信令传输方法

2.2.1 发送端的处理

本文提出了一种自适应信令传输方法。为了使信令传输更加可靠,信令被置于自适应块中信道状况最好的子载波进行传输,而用其他自适应单元传输数据符号,即:

$$T_{t,w+bW} = S_{w+bW}, \quad t = \arg \max_{l \leq \hat{t} \leq l+N_S-1} \left(\sum_{v=1}^{WB} |H|_{t,v}^2 \right) \quad (8)$$

2.2.2 接收端的信令检测

接收端收到自适应块的信号后,先将信令信息恢复出来,然后再根据信令对其他自适应单元的数据信号进行相应的解调。由于不确定信令符号所在子载波,因此接收端的信令检测分为两步:信令所在子载波的检测和信令符号的解调。

由于信令被置于该自适应块中信道状况最好的子载波进行传输并且采用BPSK调制,而数据采用不传输或其他高阶调制方式,因此可以利用该特点根据下式检测信令所在子载波:

$$\hat{t} = \arg \max_{l \leq \hat{t} \leq l+N_S-1} \left[\frac{\sum_{w=1}^W |\text{real}(Q_{t,w})|}{\sum_{w=1}^W |\text{imag}(Q_{t,w})|} \right] \quad (9)$$

式中 $Q_{t,w} = \frac{\sum_{b=0}^{B-1} R_{t,w+bW} H_{t,w+bW}^*}{\sum_{b=0}^{B-1} |H_{t,w+bW}|^2}$; $\text{real}(\cdot)$ 和 $\text{imag}(\cdot)$ 分别

表示符号的同相分量和正交分量。

通过式(9)获知信令所在子载波为第 \hat{t} 个子载波后,则可根据下式对信令进行最大比合并,即:

$$\hat{Y}_w = \frac{\sum_{b=0}^{B-1} R_{\hat{t},w+bW} H_{\hat{t},w+bW}^*}{\sum_{b=0}^{B-1} |H_{\hat{t},w+bW}|^2} = Y_w + n_w'' \quad (10)$$

式中 n_w'' 的方差为 $\sigma^{n2} = \sigma^2 / \sum_{b=0}^{B-1} |H_{\hat{t},w+bW}|^2$ 。最后根据式(7)恢复出信令信息。

由于该方法将信令置于自适应块中最佳子载波传输,其相对于传统的传输方法更加能够保证信令可靠传输。从式(9)和式(10)可见,信令所占单元越多(WB 越大),信令的传输可靠性就越佳。

3 性能分析

根据式(6)对传统信令传输方法中信令的误码率进行分析。信令 $T_{l,w}$ 等概率为1或-1, n_w' 服从方差为

σ'^2 的高斯分布;设 $a = \sum_{b=0}^{B-1} |H_{l,w+bW}|^2$,则 a 服从自由度为 $2B$ 的 χ^2 分布,那么其概率密度函数 $f_1(a) = a^{B-1} e^{-a} / (B-1)!$,因此传统信令传输方法中信令传输的误码率为:

$$P_{e1} = \int_0^{+\infty} \frac{1}{(B-1)!} a^{B-1} e^{-a} \int_{-\infty}^{-1} \frac{1}{\sqrt{2\pi/a\sigma}} e^{\frac{-ax^2}{2\sigma^2}} dx da \quad (11)$$

若采用自适应信令传输方法,设 $f_2(g)$ 为 $g =$

$\sum_{b=0}^{B-1} |H_{\hat{t},w+bW}|^2$ 的概率密度,则此时信令的误码率为:

$$P_{e2} = P\{\hat{t} = t\} \int_0^{+\infty} f_2(g) \int_{-\infty}^{-1} \frac{1}{\sqrt{2\pi/g\sigma}} e^{\frac{-gx^2}{2\sigma^2}} dx dg + \frac{1}{2} P\{\hat{t} \neq t\} \quad (12)$$

由于BPSK已调符号的正交分量为0,而其他调制方式非0,根据式(9),当SNR足够高时 $P\{\hat{t} = t\}$ 趋近于1;而 $g > a$,对比式(11)~(12)可知,自适应信令传输方法的信令可靠性更佳。

由于信令占用了自适应块中信道状况最好的单元,故用户数据对应的信道状况相对较差。实际系统中一个子带的单元数目远大于传输信令的单元数,因此数据传输占用较差单元对性能的影响相对于信令误码率性能改善对吞吐量的提升来说较小,该结论也可以从下面的仿真结果看出。

4 仿真结果

为了解本文方法的性能,在3GPP协议中的12个经典城市信道模型^[10]下进行仿真:最大多径时延为5 μ s;最大移动速度为5 km/h;系统载频为2.5 GHz;子载波数目为840;子载波间隔为11.16 kHz;CP长度为5.6 μ s。一帧包括20个OFDM符号,所有840个子载波被分为56个子带,每个子带包含15个子载波,故一帧包含56个自适应块。采用2个信令比特传递调制方式的信息,即 $W=2$ 。

传统信令传输方法与自适应信令传输方法的误码率性能如图2所示,图中给出了 $B=3,5$ 时两种方法的误码率性能。从图中可见,在低SNR时由于 $P\{\hat{t} = t\}$ 较低,自适应方法略逊于传统方法,但是当SNR足够高时,自适应方法能够带来比传统方法更加可靠的信令传输; B 越大,自适应信令传输方法带来的性能增益越明显。若信令传输的目标误码率为 10^{-4} ,当 $B=5$ 时自适应信令传输方法比传统信令传输方法优良5.5 dB。

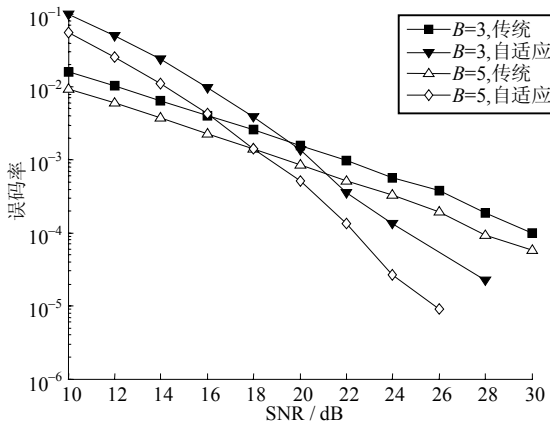


图2 传统和自适应信令传输方法的信令误码率性能

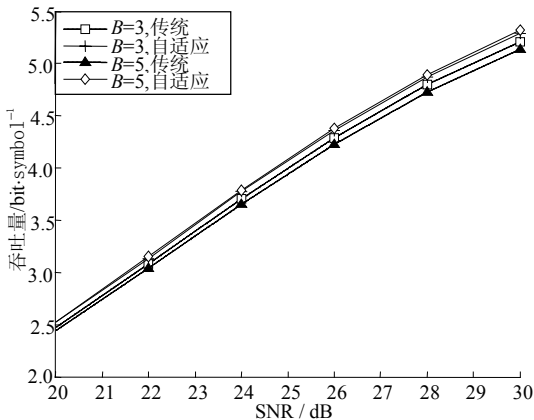


图3 采用传统和自适应信令传输方法的系统吞吐量

采用传统方法以及自适应信令传输方法的吞吐量性能如图3所示。虚线表示 $B=3,5$ 时采用传统信令传输方法的系统吞吐量,实线表示采用自适应信令传输方法的吞吐量。采用自适应方法的系统性能普遍优于采用传统方法的性能,这也说明数据传输占用较差单元对性能的影响相对较小;对于吞吐量为5 bit/symbol,当 $B=5$ 时采用自适应方法的系统大约能比采用传统方法的系统优良1dB。

从仿真结果可见,自适应信令传输方法能带来更佳的信令传输可靠性,从而提升系统吞吐量。

5 结束语

提出了一种OFDM-TDD系统开环AM系统模型,针对传统信令传输方法可靠性不够的问题,提出了一种自适应信令传输方法,将采用BPSK调制的信令置于自适应块中信道条件最好的子载波进行传输,并在接收端利用BPSK与其他调制方法不同的特性将信令恢复出来;性能分析说明该方法能增强信令传输的可靠性。仿真结果表明,该方法能够使信

令的传输可靠性比传统信令传输方法优良5.5 dB,从而提升系统吞吐量。

参 考 文 献

- [1] 李立华, 王 勇, 张 平. 移动通信中的先进信号处理技术[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2005: 21-25.
LI Li-hua, WANG Yong, ZHANG Ping. Advanced signal processing technologies in mobile communication[M]. 1st Edition, Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2005: 21-25.
- [2] 付卫红, 杨小牛, 刘乃安, 等. 宽带无线通信中的MIMO系统[J]. 电子科技大学学报, 2007, 36(2): 176-178.
FU Wei-hong, YANG Xiao-niu, LIU Nai-an, et al. MIMO systems in wideband wireless[J]. Journal of Electronic Science and Technology of China, 2007, 36(2): 176-178.
- [3] KELLER T, HANZO L. Adaptive multicarrier modulation: a convenient framework for time-frequency procession in wireless communications[J]. In Proceedings of the IEEE, 2000, 88(5): 611-640.
- [4] 范 晨, 陈美娅, 苏丽君, 等. 自适应调制编码系统门限调整算法研究[J]. 北京邮电大学学报, 2006, 29(4): 49-53.
FAN Chen, CHEN Mei-ya, SU Li-jun, et al. Threshold controlling algorithm for adaptive modulation and coding system[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2006, 29(4): 49-53.
- [5] 雷 鸣, 徐月善, 蔡 鹏, 等. 自适应调制系统在衰落信道中的性能分析[J]. 北京邮电大学学报, 2004, 27(1): 31-35.
LEI Ming, XU Yue-shan, CAI Peng, et al. Performance analysis of an adaptive modulation system over fading channels[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2004, 27(1): 31-35.
- [6] KELLER T, HANZO L. Adaptive modulation techniques for duplex OFDM transmission[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2000, 49(5): 1893-1906.
- [7] ZHOU Ming-yu, LI Li-hua, WEN Na, et al. Performance of LDPC coded AOFDM under frequency-selective fading channel[C]//Proceeding of ICCAS. Guilin, China: ICCAS06, 2006: 861-865.
- [8] LIU Guang-yi, ZHANG Jian-hua, ZHANG Ping, et al. Evolution map from TD-SCDMA to FuTURE B3G TDD [J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44(3): 54-61.
- [9] 何 艺, 雒江涛, 张治中. TD-SCDMA网络测试仪中Uu接口的信令分析[J]. 重庆邮电大学学报, 2007, 19(1): 1-9.
HE Yi, LUO Jiang-tao, ZHANG Zhi-zhong. Signaling analysis of Uu interface in TD-SCDMA network tester[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications, 2007, 19(1): 1-9.
- [10] 3GPP. TS 45.005. Radio transmission and reception (Release7)[DB/OL]. (2001-06-24)[2007-04-12]. http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.224/.

编 辑 张 俊