

# 矿井巷道无线通信自适应扩频调制技术研究

张 玉<sup>1</sup> 杨 维<sup>1</sup> 韩东升<sup>2</sup> 周青青<sup>1</sup>

(1. 北京交通大学 电子信息工程学院 北京 100044; 2. 华北电力大学 电气与电子工程学院 河北 保定 071003)

**摘要:**为改善矿井巷道中无线通信系统信号传输性能,提出了自适应扩频调制方法。在多载波码分多址技术(MC-CDMA)基础上加入自适应调试机制,根据巷道信道的信噪比动态调整基带调制方式。基于设定的误码率门限确定了矿井MC-CDMA无线通信系统采用自适应调制时不同调制方式间相互转换的信噪比门限。仿真分析了系统在采用自适应调制时的BER性能,结果表明在保证系统一定BER性能的条件下,采用自适应调制时矿井MC-CDMA无线通信系统频谱效率得到了显著提高。

**关键词:**多载波码分多址; 自适应调制; 误码率; 信噪比; 矿井无线通信

中图分类号: TD65. 5 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2013)06-0085-03

## Study on Adaptive Spread Spectrum Modulation Technology of Wireless Communications in Mine Roadway

ZHANG Yu<sup>1</sup>, YANG Wei<sup>1</sup>, HAN Dong-sheng<sup>2</sup>, ZHOU Qing-qing<sup>1</sup>

(1. School of Electronic and Information Engineering Beijing Jiaotong University Beijing 100044, China;

2. School of electric and electronic engineering North China Electric Power University Baoding 071003, China)

**Abstract:** In order to improve the signal transmission performances of the wireless communication system in the mine roadway, an adaptive spread spectrum modulation method was provided. Based on the multi-carrier code division multiple access (MC-CDMA), an adaptive modulation mechanism was added, according to the signal noise ratio dynamically adjust base band modulation method of the communication channels in the mine roadway. Based on the bit error rate limit given, an interconversion signal noise ratio limit between the different modulation modes was determined for the wireless communication system of the mine multi-carrier code division multiple access when the adaptive modulation was applied. The simulation was applied to analyze the bit error rate performances of the wireless communication system when the adaptive modulation was applied. The simulation results showed that under the condition to ensure the certain performances of the system, the spectrum efficiency of the wireless communication system of the mine multi-carrier code division multiple access could be obviously improved when the adaptive modulation was applied.

**Key words:** multi-carrier code division multiple access; adaptive modulation; bit error rate; signal noise ratio; mine wireless communication

## 0 引言

矿井巷道中的无线通信,对保障矿井安全生产和抢险救灾具有十分重要的作用<sup>[1-3]</sup>。矿井巷道的截面、弯曲、倾斜等都对矿井巷道中的电磁波传播特性即信道特性有较大的影响。矿井巷道信道的这一突出特性对在矿井巷道中部署的无线通信系统性能有较大影响。因此,为提高矿井巷道中无线通信系统的性能,进一步发展矿井巷道中的无线通信理论

与技术十分必要。目前,对井下无线通信技术的研究多基于固定调制方式。采用固定调制方式,为了保证系统的误码率性能和可靠性,一般都是在一定调制方式下评估系统的性能或依据比较恶劣的信道情况来选择调制方式。在矿井巷道中,弯曲度较小、截面较大的矿井巷道的信道条件一般比弯曲度较大、截面较小矿井巷道的信道条件好很多。因此,在矿井巷道中采用固定调制方式设计的无线通信系统将会导致系统在无线传输速率、频谱利用率、功率效

收稿日期: 2012-11-25; 责任编辑: 赵瑞

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划资助项目(2013BAK06B03); 国家自然科学基金资助项目(51274018)

作者简介: 张玉(1984—),女,河北沧州人,博士研究生。E-mail:08111039@bjtu.edu.cn

引用格式: 张玉,杨维,韩东升等. 矿井巷道无线通信自适应扩频调制技术研究[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(6): 85-87.

率和无线覆盖等方面性能的降低。可见,由于矿井巷道的截面、弯曲、倾斜等对矿井巷道中的电磁波传播特性都有较大影响,在矿井巷道中基于不同的信道条件进一步采用自适应调制技术十分适宜。课题组人员在所建立的矿井巷道统计信道模型基础上<sup>[4]</sup>研究了一些典型的无线调制技术在矿井巷道中的无线通信性能,并得到一些有价值的研究成果。研究表明基于频域扩频技术的多载波码分多址(MC-CDMA)调制方式在矿井巷道信道下与其他调制方式相比,在一定的信噪比条件下表现出一定的BER性能优势<sup>[5-6]</sup>。为此,笔者探讨了在传统MC-CDMA调制的基础上增加自适应调制方式对无线通信系统性能的影响,并提出了自适应调制的MC-CDMA矿井无线通信系统,以提高矿井巷道无线通信系统在不同信噪比状态下的资源利用效率。

## 1 矿井自适应调制 MC-CDMA 模型

图1为采用固定基带调制方式的传统MC-CDMA调制模型,简称固定调制MC-CDMA模型。在固定调制MC-CDMA模型中,信源信号固定使用一种调制方式进行基带信号调制,图1中采用了QPSK调制方式,然后经过MC-CDMA进行频带调制后向外发射。采用固定调制MC-CDMA方式的无线通信系统的信息发射速率始终固定,而且其基带调制方式是按照最坏情况设计的,以使其在信道条件变得很差时也能维持可接受的性能。矿井巷道中的无线信道具有时变性,当信道信噪比较高时,允许较高速率的数据传输,因此固定调制MC-CDMA方式会造成带宽资源的浪费。

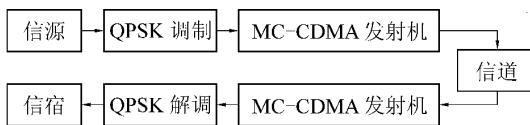


图1 固定调制MC-CDMA模型

自适应调制方式在信道条件好时提高传输速率,在信道条件差时降低速率,以优先保证传输质量,从而提高无线通信系统的整体传输性能。自适应调制MC-CDMA模型如图2所示,在固定调制MC-CDMA模型的基础上对信源的基带调制环节增加了调制方式自适应选择功能。图2中,MQAM调制是指多进制正交幅度调制,其中典型的调制方式包括调制阶数M=2时的二相键控调制(BPSK),M=4时的四相键控调制(QPSK),以及M=16时的

16QAM调制方式。随着M值的增加,调制方式的调制速率增加,抗干扰能力降低。自适应调制MC-CDMA模型的发射端根据矿井巷道无线信道的信噪比状态反馈,对基带调制方式进行自适应调整。当信道信噪比较低时,采用调制速率较低的调制方式,如BPSK;当信噪比较高时,则采用调制速率较高的调制方式,如16QAM。接收端按照发射端采用基带调制方式对接收信号进行相应解调以恢复原始数据。与固定调制MC-CDMA调制模型相比,自适应调制MC-CDMA调制模型通过自适应调整基带调制方式,能够更好地适应矿井巷道信道的时变特性。何时在各种基带调制方式间切换,则需要设定各种调制方式对应的转换阈值。

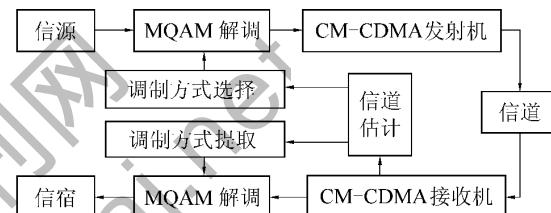


图2 自适应调制MC-CDMA模型

## 2 矿井自适应MC-CDMA调制的转换阈值

自适应调制方式的转换通常采用阈值法,即无线通信系统根据具体通信要求首先设定一个误码率(BER)门限值,并计算不同调制方式低于该BER门限值所对应的信噪比下限来作为不同调制方式间转换的信噪比门限<sup>[7]</sup>。将信道估计所得到的信噪比与各个信噪比门限进行比较,确定其所处的门限区间,进而选择相应的调制方式。

笔者研究的自适应调制器分别采用了BPSK、QPSK和16QAM三种调制方式,假设BPSK、QPSK与16QAM满足规定BER门限要求的信噪比下限分别为 $l_1$ 、 $l_2$ 与 $l_3$ ,利用瞬时信噪比 $\gamma$ 作为信道质量的衡量指标,则相应的自适应调制方式的选择规则为:当 $\gamma < l_2$ 时,调制方式选择BPSK;当 $l_2 \leq \gamma < l_3$ 时,调制方式选择QPSK;当 $\gamma \geq l_3$ 时,调制方式选择16QAM。 $l_2$ 和 $l_3$ 限定了在规定BER需求下的3种基带调制方式的切换阈值。

假设无线通信系统的载波频率为2.4GHz,信道模型采用Nakagami-m信道 $m=3$ 的矿井分段统计信道模型<sup>[4]</sup>,系统的扩频增益 $G$ 和载波数 $N_c$ 均取32,系统带宽20MHz,用户个数为1。采用固定调制MC-CDMA模型的矿井无线通信系统,在

BPSK、QPSK 以及 16QAM 三种调制方式下的 BER 随矿井巷道信道信噪比变化仿真曲线如图 3 所示, 从图 3 可知, 对应相同的信道信噪比, 系统的平均误码率随着调制阶数的增加而增加。假设系统的误码率门限值为  $10^{-2}$ , 如图 3 中平行于横轴的直线所示, 可得 3 种调制方式的信噪比下限分别为:  $l_1 = 5.9$ ,  $l_2 = 7.1$ ,  $l_3 = 9.9$ 。自适应调制 MC-CDMA 的无线通信系统采用 BPSK、QPSK、16QAM 三种调制方式的信噪比阈值分别为  $\gamma < 7.1$ ,  $7.1 \leq \gamma < 9.9$ ,  $\gamma \geq 9.9$ 。

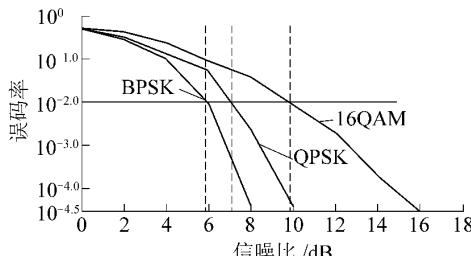


图 3 不同调制方式下固定调制 MC-CDMA 系统误码率

### 3 仿真结果与性能分析

根据第 2 节不同调制方式的信噪比切换阈值, 对采用 QPSK 的固定调制 MC-CDMA 系统、自适应调制 MC-CDMA 系统的 BER 性能进行仿真比较, 仿真结果如图 4 所示。

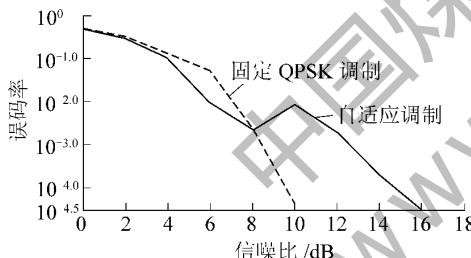


图 4 矿井自适应调制 MC-CDMA 系统误码率

图 5 是固定调制 MC-CDMA 系统与自适应调制 MC-CDMA 系统每符号承载的平均比特数( Bits Per Signal, BPS) 随信噪比变化的性能曲线。BPS 是衡量系统频谱效率的重要参数<sup>[13]</sup>。由图 5 可知, 矿井自适应调制 MC-CDMA 系统的 BPS 值随着信噪比的增加而增大, 最后收敛于系统所采用的最高阶

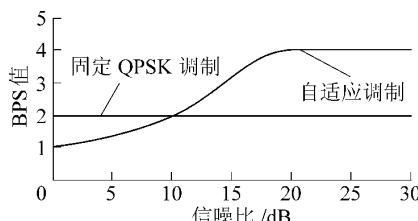


图 5 矿井 MC-CDMA 系统 BPS 性能曲线

调制方式, 即 16QAM, 其 BPS 值等于 4。当采用固定 QPSK 调制时, 系统的 BPS 值始终等于 2。可见, 采用自适应调制, 矿井无线通信系统随着信噪比的改善, 系统的频谱效率也得到显著提高。

### 4 结语

基于 BER 门限的矿井 MC-CDMA 无线通信系统自适应调制方案, 能根据巷道信道状态动态地选择采用的基带调制方式。与采用固定基带调制方式的 MC-CDMA 调制方式相比, 自适应调制 MC-CDMA 调制方式降低了低信噪比状态下矿井无线通信系统的传输误码率, 同时随着信噪比的改善, 显著提高了通信系统的频谱使用效率。目前, 笔者研究的内容仅是初步的, 为突破现有矿井无线通信理论、技术与系统的局限性, 高效综合利用井下通信系统的空间、时间、频率等资源还待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 孙继平, 田子建, 梁亮. 一种新型的井下无线通信组网方式 [J]. 工矿自动化, 2003(2): 1-4.
- [2] 杨维, 冯锡生, 程时昕. 新一代全矿井无线信息系统理论与关键技术 [J]. 煤炭学报, 2004, 29(4): 506-509.
- [3] 孙彦景, 钱建生, 武金磊, 等. 基于 WSN 地下无人采煤安全监测系统的研究 [J]. 传感技术学报, 2007, 20(11): 2517-2521.
- [4] 杨维, 李滢. 类矩形矿井巷道中 UHF 宽带电磁波统计信道建模 [J]. 煤炭学报, 2008, 33(7): 94-98.
- [5] 杨维, 周青青. 典型频域扩频多载波 CDMA 调制在矿井巷道信道下的性能分析 [J]. 煤炭学报, 2010, 35(5): 865-870.
- [6] 杨维, 周青青. 改进的 MC-CDMA 调制在矿井巷道信道下的性能分析 [J]. 中国矿业大学学报, 2011, 40(2): 226-231.
- [7] Sampei S, Harada H. System Design Issues and Performance Evaluations for Adaptive Modulation in New Wireless Access Systems [J]. Proceedings of the IEEE, 2007, 95(12): 2456-2471.
- [8] Lev Goldfeld, Vladimir Lyandres, Dov Wulich. Minimum BER Power Loading for OFDM in Fading Channel [J]. IEEE Trans on Commun, 2002, 50(1): 1729-1733.
- [9] Hara S, Prasad R. Overview of Multicarrier CDMA [J]. IEEE Commun Magazine, 1997, 35(12): 126-133.
- [10] 梁莹, 李晓, 张记龙, 等. 井下无线通信网络路由快速建立的方法 [J]. 煤炭科学技术, 2011, 39(8): 93-96.
- [11] 孙继平. 矿井通信技术与系统 [J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(12): 1-3.
- [12] Chang Soon Park, Kwang Bok Lee. Minimum BER Power Loading for OFDM in Fading Channel [J]. IEEE Trans on Commun, 2004, 52(10): 1658-1663.
- [13] 杨维, 牛丽, 齐辉. DS-CDMA 调制技术在矿井巷道中的通信性能分析 [J]. 煤炭科学技术, 2008, 36(3): 88-91.