

文章编号:1671-251X(2017)07-0069-04

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2017.07.014

矿井透地通信中语音信号调制解调方式分析

殷思雨, 陶晋宜, 吕吉, 武睿

(太原理工大学 电气与动力工程学院, 山西 太原 030024)

摘要:根据不同调制解调方式特点,在考虑矿井透地通信信道特性的基础上,对二进制振幅键控、二进制频移键控、二进制差分相移键控等调制方式在不同解调方式下的误码率进行了仿真对比,结果表明:二进制频移键控相干解调方式具有一定的抗噪声和抗频率选择性衰落能力,可有效降低语音信号在传输过程中的误码率,提高透地通信的可靠性和准确性,更适合作为井下无线透地通信中语音信号的调制解调方式。

关键词:透地通信; 语音信号; 调制; 解调; 二进制频移键控

中图分类号:TD655 文献标志码:A 网络出版时间:2017-06-27 16:54

网络出版地址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20170627.1654.014.html>

Analysis of modulation and demodulation mode of voice signal in
mine through-the-earth communication

YIN Siyu, TAO Jinyi, LYU Ji, WU Rui

(School of Electrical and Power Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: According to characteristics of various modulation and demodulation modes, bit error rate of modulation modes including binary amplitude shift keying, binary frequency shift keying and binary differential phase shift keying under different demodulation modes were simulated and compared on the basis of characteristics of mine through-the-earth communication channel. The results show that the binary frequency shift keying coherent demodulation mode can reduce the bit error rate in transmission process of voice signal effectively, and improve reliability and accuracy of the through-the-earth communication with certain ability to resist noise and frequency selective fading, which is more suitable for modulation and demodulation of voice signal in mine through-the-earth communication.

Key words: through-the-earth communication; voice signal; modulation; demodulation; binary frequency shift keying

0 引言

井下工作环境复杂,需要安全、可靠、灵活的通信系统,确保在发生突发事件时最大程度地帮助实现抢险救灾。但发生灾害事故时,井下有线信道被破坏,井下工作人员无法与地面取得联系,延误救援时间。透地通信是一种以地层为通信信道的无线通

信技术,不受煤矿灾害的影响,能够实现双向通信,是煤矿灾后应急救援的重要通信手段^[1]。

为使透地通信达到更好的效果,许多学者将研究重点集中在提高天线利用率、增大信道容量等方面^[2-3],而关于语音信号调制解调方式的研究较少^[4]。文献[5]对语音信号进行调制时没有考虑大地媒质和地面形状等因素对信号衰减产生的影响,

收稿日期:2017-04-07;修回日期:2017-05-25;责任编辑:盛男。

基金项目:山西省自然科学基金资助项目(2013011019-2)。

作者简介:殷思雨(1993—),女,陕西西安人,硕士研究生,主要研究方向为电力电子与信号处理,E-mail:1056672818@qq.com。

引用格式:殷思雨,陶晋宜,吕吉,等. 矿井透地通信中语音信号调制解调方式分析[J]. 工矿自动化,2017,43(7):69-72.

YIN Siyu,TAO Jinyi,LYU Ji,et al. Analysis of modulation and demodulation mode of voice signal in mine through-the-earth communication[J]. Industry and Mine Automation,2017,43(7):69-72.

且利用的大地模型较为理想,与实际信道存在出入。本文从不同调制解调方式特点出发,在考虑实际信道中存在多径衰落的基础上,对原始语音信号经混合激励线性预测(Mixed Excitation Linear Prediction, MELP)压缩编码处理后的数字信号^[6]在不同调制解调方式下误码率进行仿真对比,从而确定矿井透地通信中最佳语音信号调制解调方式。

1 语音信号调制解调方式

通过对载波的振幅、频率和相位进行键控,数字调制方式可相应分为振幅键控(Amplitude Shift Keying, ASK)、频移键控(Frequency Shift Keying, FSK)和差分相移键控(Differential Phase Shift Keying, DPSK)。在理想状态下,ASK具有频带利用率较高的优点,但抗噪声性能差,对信道特性变化较敏感;FSK抗噪声能力较强,不受信道参数变化的影响,但占用频带较宽;DPSK抗噪声能力比ASK和FSK强,不易受信道特性变化的影响^[7]。

在矿井透地通信系统中,电磁波传播媒质为地层,地壳表层为导电率较高的覆盖层,覆盖层表面有砂土、粘土或砂质粘土,其下还有沉积岩,导致电磁波在传输过程中发生很大衰减及畸变^[8]。同时,信道中还有来自工业和自然的各种干扰,因此要求选取的调制方式具有较强的抗噪声能力^[9]。井下信道环境恶劣、复杂,信号在传输过程中很可能会发生振幅变化或因多径传播导致相位偏移,使得接收端无法有效识别原始语音信号。因此,在透地通信系统对载波的振幅和相位进行键控的调制方式可靠性较低。而在FSK调制方式下,只要将各载波频率之间的差异设置较大,即可保证接收端有效识别信号。但需要注意的是,采用多进制频移键控(Multiple Frequency Shift Keying, MFSK)虽可进一步降低误码率,但频带宽度会变得更大,其本质就是通过增加带宽来降低误码率^[10]。因此,应选取二进制频移键控(Binary Frequency Shift Keying, 2FSK)调制方式。

二进制数字调制的误码率与采用的解调方式相关,2FSK信号常用的解调方法有相干解调和包络检波。2FSK相干解调的误码率为 $\frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{r}{2}}\right)$,其中 $\operatorname{erfc}()$ 为误差函数, r 为解调器输入端信噪比;2FSK包络检波的误码率为 $\frac{1}{2} \exp(-r/2)$ ^[10]。根据误码率表达式,在2FSK调制方式下,采用相干解调

时误码率较低。因此,选择相干解调作为语音信号的解调方式。

2 仿真分析

采用SystemView仿真软件^[11-12]对原始语音信号经MELP压缩编码(编码速率为2.4 kbit/s)处理后的数字信号进行调制解调仿真。调制信号为伪随机序列PN Seq,设置其振幅为0.5 V、偏置为0.5 V、频率为2 400 Hz、电平数为2。仿真时间为0.3 s,采样点数为72 001。由于井下环境复杂,噪声来源广泛,为便于分析,采用高斯白噪声来模拟信道噪声。高斯白噪声的初始值设置要使其频谱能量和数据能量相同,设初始信噪比为0,然后通过噪声逐次衰减来提高信噪比^[9]。

2.1 不同调制解调方式下误码率

二进制振幅键控(Binary Amplitude Shift Keying, 2ASK)调制方式采用的载波为振幅7 V、频率8 800 Hz、初相位0的正弦波。在2ASK调制方式下,分别采用包络检波和相干解调时误码率曲线如图1所示。可看出采用2ASK包络检波时误码率高于2ASK相干解调的误码率,尤其在信噪比较小时,差异明显;当信噪比较大时,2种解调方式下的误码率趋于一致。

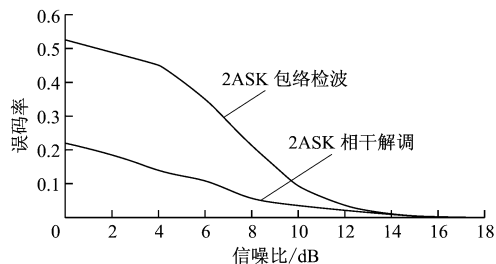


图1 2ASK调制方式下不同解调时误码率曲线

Fig. 1 Bit error rate curves of different demodulation under 2ASK modulation mode

2FSK调制方式采用的2个载波分别为振幅7 V、频率4 000 Hz、初相位0的正弦波和振幅7 V、频率8 800 Hz、初相位0的正弦波。在2FSK调制方式下,分别采用包络检波和相干解调时误码率曲线如图2所示。可看出当信噪比较小时,采用2FSK相干解调时误码率较低。

二进制差分相移键控(Binary Differential Phase Shift Keying, 2DPSK)调制方式采用的2个载波分别为振幅7 V、频率4 800 Hz、初相位0的正弦波和振幅7 V、频率4 800 Hz、初相位180°的正弦波。在2DPSK调制方式下,分别采用相干解调加

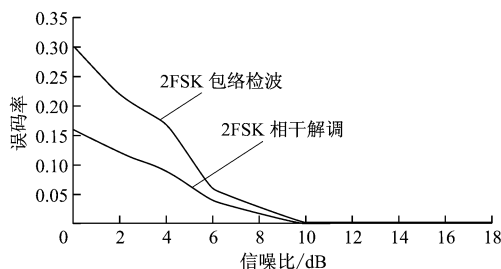


图2 2FSK调制方式下不同解调时误码率曲线

Fig. 2 Bit error rate curves of different demodulation under 2FSK modulation mode

码反变换和差分相干解调时误码率曲线如图3所示。可看出采用2DPSK相干解调加码反变换时误码率较低,但在大信噪比条件下,2种解调方式下的误码率趋于一致。

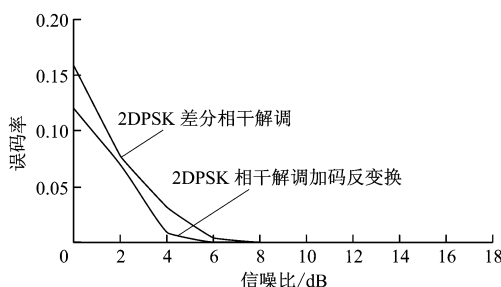


图3 2DPSK调制方式下不同解调时误码率曲线

Fig. 3 Bit error rate curves of different demodulation under 2DPSK modulation mode

2ASK相干解调、2FSK相干解调和2DPSK相干解调加码反变换方式下误码率曲线如图4所示。可看出2DPSK相干解调加码反变换方式下误码率最小,即抗噪声性能最好,其次是2FSK相干解调方式。但该仿真中没有考虑多径信道的情况,而在实际矿井信道中,信号在传播过程中往往存在时延和不同程度的衰减。因此,还应进一步探究在发生多径衰落时2DPSK相干解调加码反变换和2FSK相干解调方式的抗噪声性能。

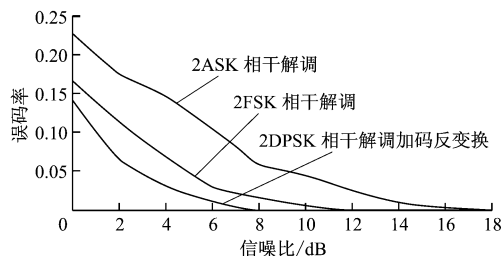


图4 2ASK相干解调、2FSK相干解调、2DPSK相干解调加码反变换方式下误码率曲线

Fig. 4 Bit error rate curves of 2ASK coherent demodulation, 2FSK coherent demodulation and 2DPSK coherent demodulation plus code inversion

2.2 两径信道中2FSK相干解调和2DPSK相干解调加码反变换方式下误码率

由于多径信道的建模十分复杂,仿真分析两径信道中分别采用2FSK相干解调和2DPSK相干解调加码反变换时抗噪声性能。通过2个延迟器控制两径信道中信号时延^[13-14],延迟器取值需满足所传信号带宽为相关信道带宽的1/5~1/3^[15]。在两径信道中,分别采用2FSK相干解调、2DPSK相干解调加码反变换方式时误码率曲线如图5所示。可看出采用2DPSK相干解调加码反变换方式时误码率随机波动,信号受信道环境的影响而无法可靠传输,而采用2FSK相干解调方式时误码率整体呈下降趋势,可有效提高信号的抗噪声和抗频率选择性衰落能力。

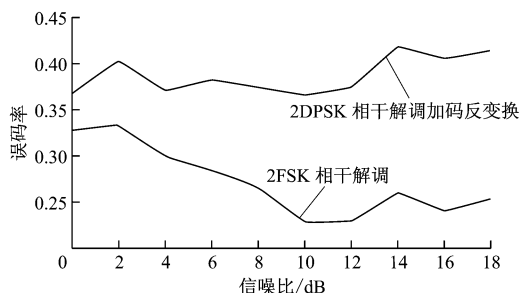


图5 两径信道中2FSK相干解调、2DPSK相干解调加码反变换方式下误码率曲线

Fig. 5 Bit error rate curves of 2FSK coherent demodulation and 2DPSK coherent demodulation plus code inversion in two-path channel

3 结语

根据多种调制解调方式特点,结合矿井透地通信信道特性,通过仿真对比2ASK、2FSK、2DPSK调制在不同解调方式下的误码率,得出2FSK相干解调方式具有一定的抗噪声和抗频率选择性衰落能力,更适合作为井下无线透地通信中语音信号的调制解调方式。

参考文献(References):

- [1] 鲍祖尚,潘萍. 矿井透地无线通信系统研究综述[J]. 装备制造技术, 2014(4): 22-24.
BAO Zushang, PAN Ping. Review of mine wireless communication system with through-the-earth [J]. Equipment Manufacturing Technology, 2014 (4): 22-24.
- [2] 霍振龙. 透地通信系统的现状和主流技术分析[J]. 工矿自动化, 2013, 39(9): 40-42.
HUO Zhenlong. Current situation of through-the-

- earth communication system and analysis of its mainstream technology [J]. Industry and Mine Automation, 2013, 39(9): 40-42.
- [3] 孙红雨, 王娜, 郭银景, 等. 透地通信系统研究进展[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2011, 30(3): 79-85.
- SUN Hongyu, WANG Na, GUO Yinjing, et al. Research progress of through-the-earth communication system[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2011, 30(3): 79-85.
- [4] 田永华. 矿井透地信息通信系统调制技术[J]. 煤矿安全, 2015, 46(9): 114-116.
- TIAN Yonghua. Modulation technology for mine ground-penetrating information communication system[J]. Safety in Coal Mines, 2015, 46(9): 114-116.
- [5] 钱彬. 井下环境中透地通信技术的研究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2012.
- [6] 康跃明. 矿井低频无线语音通信方案的设计与实现[J]. 矿业安全与环保, 2016, 43(4): 31-33.
- KANG Yueming. Design and implementation of mine low-frequency wireless voice communications schemes [J]. Mining Safety and Environmental Protection, 2016, 43(4): 31-33.
- [7] 樊昌信, 曹丽娜. 通信原理[M]. 6版. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [8] 陶晋宜. 甚低频电磁波穿透地层无线通信系统若干问题的探讨[J]. 太原理工大学学报, 2000, 31(6): 690-693.
- TAO Jinyi. Discussion on some questions about through earth radio communication system [J]. Journal of Taiyuan University of Technology, 2000, 31(6): 690-693.
- [9] 刘晓佩. 矿井透地扩频通信系统的应用研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2004.
- [10] 李永忠, 徐静. 现代通信原理、技术与仿真[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2010.
- [11] 冯育涛. 通信系统仿真[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [12] 尹立强, 张海燕. 通信原理及 SystemView 仿真测试[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2012.
- [13] 赵岩磊. 数字矿山无线局域网数据终端的开发与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
- [14] 徐庆芳. 矿井 MIMO 通信系统的关键技术研究[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2014.
- [15] 张鑫. 煤矿井下电力线载波通信技术研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2013.