

文章编号:1671-251X(2011)09-0045-04

DOI:CNKI:32-1627/TP.20110828.1425.011

变换域通信系统在煤矿井下的应用研究

倪水平, 邓立恒

(河南理工大学计算机学院, 河南 焦作 454003)

摘要:针对煤矿井下复杂的电磁环境以及现有矿用无线通信系统抗干扰能力差的问题,分析了变换域通信系统应用于煤矿井下的可行性,提出了矿井变换域通信系统发射机和接收机的设计方案,并模拟井下电磁环境对矿井变换域通信系统的功率谱、阈值比较后的功率谱、调制波形和误码率进行了仿真分析。分析结果表明,该系统具有较好的抗干扰和抗噪声特性及较低的误码率,可在复杂的电磁场环境中有效地通信。

关键词:矿井;变换域通信系统;无线通信;电磁干扰;发射机;接收机

中图分类号:TD655.3

文献标识码:A

网络出版时间:2011-08-28 14:25

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20110828.1425.011.html>

Research of Application of Transform Domain Communication System in Coal Mine Underground

NI Shui-ping, DENG Li-heng

(College of Computer Science and Technology of Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: For complex electromagnetism environment in coal mine underground and poor anti-interference ability of existing mine-used wireless communication systems, the paper analyzed feasibility of application of transform domain communication system in coal mine underground and proposed design schemes of transmitter and receiver of mine transform domain communication system. It also simulated and researched power spectrum, power spectrum after comparing threshold, modulation waveform and bit error rate of the system through simulating underground electromagnetism environment. The analysis result showed that the system has good anti-interference and anti-noisy performance and low bit error rate, and can realize wireless communication effectively in complex electromagnetism environment.

Key words: mine, transform domain communication system, wireless communication, electromagnetism interference, transmitter, receiver

0 引言

目前煤矿井下使用较多的无线通信系统主要有矿用泄漏通信系统、矿用感应通信系统、矿用小灵通通信系统以及矿用CDMA通信系统等^[1]。前两种是局部通信系统,无调度功能,无法传输数据,通话

质量差。矿用小灵通通信系统则是将小灵通技术移植到井下,能实现全矿井通信,但同样无调度功能,无法传输数据,通话质量较前两种系统稍好。矿用CDMA通信系统是CDMA通信系统在井下的移植,与前面几种系统相比,它具有调度功能,并能传输数据,但由于CDMA技术不涉及传输信道,故在复杂的电磁环境中,其抗干扰和抗多径衰落等性能并不好。另外,CDMA通信系统成本较高。

鉴于此,本文提出一种新的煤矿井下无线通信系统——井下变换域通信系统(Transform Domain Communication System, TDCS)^[2-4]。TDCS是一种

收稿日期:2011-05-17

基金项目:河南省重点科技攻关资助项目(102102210032)

作者简介:倪水平(1977-),男,湖北黄冈人,讲师,博士研究生,主要研究方向为无线通信技术。E-mail:nishuiping@163.com

新型的无线通信系统,最早由 German E. H. 于 1988 年提出。TDCS 与传统通信系统的主要区别:

- (1) TDCS 并不预先分配频率,而是根据检测到的外部环境的电磁场状况,在一定频率范围内动态选择最佳工作频率,如果工作受到干扰,它也可以重新检测其它频段的干扰情况,更改工作频率;
- (2) TDCS 摒弃了传统的载波调制方式,采用伪随机码来生成类似于噪声的信号,不过伪随机码并非用来扩频,而是产生随机相位。这两点保证了其抗干扰性能优于传统通信系统。因此,从理论上讲,设计适合煤矿井下复杂电磁环境的 TDCS 是可行和值得研究的,它能实现全矿井通信,具备调度功能,而且可以进行数据通信。本文主要介绍矿井 TDCS 的设计方案和信道估计技术,并进行仿真分析。

1 矿井 TDCS 设计方案

1.1 TDCS 发射机

TDCS 主要包括发射机和接收机两部分,其中发射机主要由电磁环境采样、频谱估计、频谱决策、随机相位生成、能量均衡、逆变换(如 IFFT 等,本文均以 IFFT 为例)、信号调制和射频前端等模块组成,如图 1 所示。

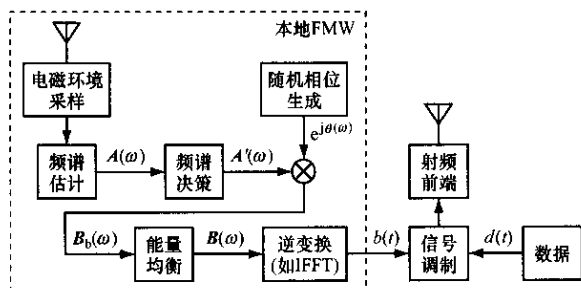


图 1 TDCS 发射机组成

发射机的基本工作原理:发射机首先采样指定频段内的电磁环境,做能量检测后得到环境信号的功率谱矢量 $A(\omega)$,功率谱中的每个值分别与给定的先验阈值做比较,大于阈值的功率所对应的信道位置标记为 0,表示该信道不可用,小于或等于阈值的功率对应的信道标记为 1,表示该信道可用; $A(\omega)$ 通过阈值处理有效抑制干扰之后得到新的矢量值 $A'(\omega)$, $A'(\omega)$ 与随机相位生成的复矢量 $e^{j\theta(\omega)}$ 相乘,得到 $B_b(\omega)$,目的是给每个可用的频点加载一个随机相位,使信号具有类似噪声的特性,便于后面多用户数据的接入和调制,随机相位的生成类似于扩频系统,采用的是伪随机码(如 m 序列),实现相位的随机化^[5]; $B_b(\omega)$ 经过能量均衡后得到 $B(\omega)$,由于不同的无线电环境下频谱决策后生成的变换域波形

不一致,因此,能量均衡的目的是对这些不一致的波形进行归一化,使得每个待发射的码元能量相等,其公式为

$$B(\omega) = CA'(\omega)e^{j\theta(\omega)} \quad (1)$$

式中: C 为能量均衡的幅度因子。

对式(1)进行逆变换处理,得到基本调制波形(FMW)的时域波形 $b(t)$,即

$$b(t) = \text{IFFT}[B(\omega)] \quad (2)$$

如果电磁环境未发生改变,即 $A(\omega)$ 不变, $B(\omega)$ 就不需要重复做逆变换;最后将 $d(t)$ 经过 $b(t)$ 调制后发射出去,就完成了整个发射流程。

在 TDCS 中,基本的调制方式是循环移位键控(CSK)。TDCS 的 FMW 具有类似噪声的特性,时域移位后,其相关函数基本为 0。利用这一特性,在时域对 FMW 循环移位即可实现不同调制信号之间的正交。目前有许多关于 TDCS 调制方式的研究,多数是在 CSK 基础上拓展的,如二相循环移位键控(BCSK)、多相循环移位键控(MCSK)等,其中 BCSK 的表达式和误码率^[6]为

$$\begin{cases} s_1(t) = b(t) \\ s_2(t) = b\left(t - \frac{T}{2}\right) \end{cases} \quad (3)$$

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (4)$$

式中: $s_1(t)$ 、 $s_2(t)$ 为 BCSK 在 t 时刻的调制信号; T 为码元周期; $Q(\cdot)$ 为 Q 函数; E_b 为信号能量; $N_0/2$ 为噪声的双边带功率谱密度。

1.2 TDCS 接收机

TDCS 工作的必要条件是其接收机与发射机必须产生相同的基函数来调制解调信号,即接收机需要有与发射机同样的电磁环境和随机相位生成序列。所以 TDCS 接收机的本地 FMW 模块与发射机的本地 FMW 模块基本相同,其组成如图 2 所示。

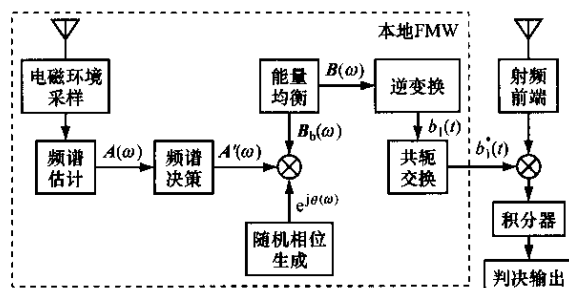


图 2 TDCS 接收机组成

从图 2 可看出,TDCS 接收机本地 FMW 模块与发射机本地 FMW 模块相比只多了一个共轭交换部分,因此,其工作流程也基本相同。在接收到信号

后,判决统计量 $z_j(t)$ 依据最大似然准则进行判决。

对于 BCSK 调制来说,判决公式为

$$d(t) = \begin{cases} s_1(t), & z_1(t) > z_2(t) \\ s_2(t), & z_1(t) < z_2(t) \end{cases} \quad (5)$$

式中: $z_1(t)$ 、 $z_2(t)$ 分别为 $s_1(t)$ 、 $s_2(t)$ 的判决统计量。

2 矿井 TDCS 仿真分析

煤矿井下有主巷道、竖井、斜井和采掘工作面等,这些空间都是非常狭窄的,粗糙的工作面和各种设备等都会对电磁波产生反射和散射,以致移动通信信号是来自不同传播路径的信号合成,即存在多径效应。如果不处理这些合成信号,则会使信号失真和误码率上升,影响通信质量。因此,在对矿井 TDCS 进行仿真时必须考虑这些因素,使得仿真研究更贴近煤矿井下真实的电磁环境。

根据 TDCS 原理和对矿井电磁环境的分析,假定有 2 个独立的单音干扰和高斯白噪声干扰。考虑多径衰落的影响,仿真信道设定为 Rayleigh 信道。电磁环境信号可表示为

$$r(t) = c_1 \sin(f_1 t + \theta_1) + c_2 \sin(f_2 t + \theta_2) + n(t) \quad (6)$$

式中: c_1 、 c_2 为两单音干扰信号幅度系数; f_1 、 f_2 为干扰信号的中心频率; θ_1 、 θ_2 为干扰信号的初始相位; $n(t)$ 为高斯白噪声。

令 $c_1 = c_2 = 1$, $f_1 = 50$ Hz, $f_2 = 150$ Hz, θ_1 和 θ_2 随意设定。用 Welch 方法进行功率谱密度估计^[7],得出功率谱幅值 $A(\omega)$ 的仿真结果,如图 3 所示。

对 $A(\omega)$ 作阈值比较后,得到 $A'(\omega)$,如图 4 所示。这里阈值设定为 10。在实际应用中,阈值需要多次采样后取平均值,而且最好设定为可调,便于系统适应不同的环境。由图 3 和图 4 可知,系统通过对信道电磁环境进行采样及频谱估计后,可以估计出信道的功率谱密度,进一步处理后就能找出可供通信系统使用的频段,从而避开部分干扰。

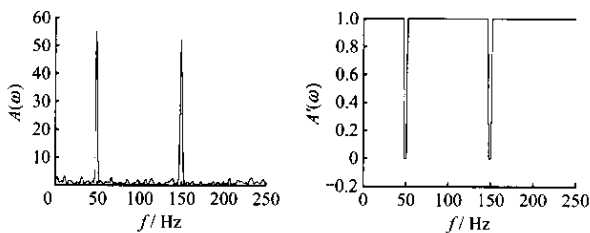


图3 功率谱幅值 $A(\omega)$

仿真结果

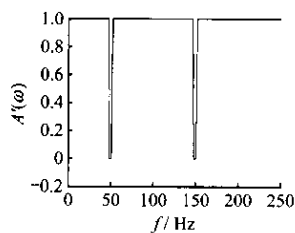


图4 阈值比较后的功率谱

幅值 $A'(\omega)$ 仿真结果

相位随机生成的目的是提供 TDCS 通信的抗

干扰、低截获性能和多址能力,常采用 m 序列、Gold 序列和 Kasami 码。这里选用 m 序列。设 n 为 m 序列的数据位数,则可映射的随机相位值有 2^n 个,表示为

$$e^{j\theta_i(\omega)} = \left\{ e^{j\theta_i(\omega)} \mid \theta_i(\omega) \in \left[0, \frac{2\pi}{2^n}, \dots, \frac{2\pi(2^n - 1)}{2^n} \right] \right\} \quad (7)$$

选定 m 序列后, n 为确定的值,相位 $\theta_i(\omega)$ 的值也是固定的。因此,可以用查表的方法很方便地将 m 序列与 $e^{j\theta_i(\omega)}$ 对应起来。由式(1)可得出 FMW 的频谱 $B(\omega)$,作 IFFT 变换后,可得到 FMW 的时域波形 $b(t)$,也称为基函数,如图 5 所示。从图 5 可看出,它在时域中具有类似于带限白噪声的性质,有利于提高信号的抗干扰能力和传输的可靠性,也便于接收端采用相干解调或匹配滤波等技术实现数据的正确接收。由于基函数相位由 1 个伪随机序列产生,因此只要为每个用户分配 1 个独有的身份码,就可以实现系统的多址接入。

最后对系统的误码率进行仿真分析,信道模型为加性高斯白噪声信道,信噪比取为 0~20 dB。为便于分析,将 TDCS 与 MC-CDMA 的误码率做对比,如图 6 所示。结果表明,TDCS 的误码率随信噪比的升高而快速下降,说明受噪声的影响仍然较为明显,但总的来说其误码率较低。

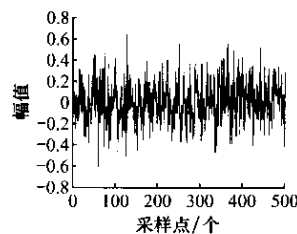


图5 FMW 的时域波形
仿真结果

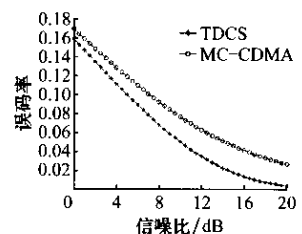


图6 TDCS 与 MC-CDMA
的误码率曲线

3 结语

提出了将 TDCS 应用于煤矿井下的方案,介绍了发射机和接收机的设计原理,并对关键技术作了仿真分析。分析结果表明,TDCS 主要是对信道电磁环境进行频谱估计和处理,找到可使用的频段,因此可以自适应躲避信道中的干扰,具有较好的干扰抑制能力。然而井下多径衰落对无线通信系统的影响是无法忽略的,TDCS 对多径衰落的处理主要取决于射频前端。考虑到 OFDM(正交频分复用)技术有良好的抗多径衰落特性,因此,将 TDCS 与 OFDM 相结合将是下一步的主要研究内容。

文章编号:1671-251X(2011)09-0048-04

DOI:CNKI:32-1627/TP.20110828.1425.012

CPLD 在电力系统微机保护装置中的应用

温阳东, 范俊华, 余茂全

(合肥工业大学电气与自动化工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要:针对采用 DSP 和单片机设计的电力系统微机保护装置中 DSP 输入输出扩展口较少、电路设计复杂的问题,采用 CPLD 器件 EPM7128 设计了该微机保护装置的开入开出量扩展电路、握手信号电路、数据通信电路、频率测量电路等逻辑电路,着重介绍了 CPLD 在双 CPU 通信中的设计与实现。仿真结果验证了 CPLD 逻辑电路的正确性;在微机保护装置中的应用也表明了 CPLD 逻辑电路的灵活性与稳定性。

关键词:电力系统;继电保护;微机保护;双 CPU;CPLD;握手信号

中图分类号:TD611.5

文献标识码:B

网络出版时间:2011-08-28 14:25

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20110828.1425.012.html>

Application of CPLD in Microcomputer-based Protection Device for Power System

WEN Yang-dong, FAN Jun-hua, YU Mao-quan

(School of Electrical Engineering and Automation of Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: For problems of few expandable IO of DSP and complex circuit design of microcomputer-based protection device for power system by use of DSP and single chip microcomputer, CPLD chip EPM7128 was used to design logic circuits of expanded digital IO, handshaking signal, data communication, and frequency measurement of the device, and design and implementation of CPLD in communication between dual CPUs were introduced emphatically. The simulation result verified correctness of the CPLD logic circuits. The application of the circuits in the microcomputer-based protection device also showed their flexibility and stability.

Key words: power system, relay protection, microcomputer-based protection, dual CPUs, CPLD, handshaking signal

收稿日期:2011-05-25

作者简介:温阳东(1955—),男,安徽合肥人,教授,主要研究方向为继电保护及调度自动化、嵌入式系统的设计与应用。E-mail: fjh850126@126.com

0 引言

电力系统继电保护的发展对微机保护装置性能的要求越来越高,微机保护装置的功能也逐渐趋于

参考文献:

- [1] 王凯敏,曾永华,顾义东.基于 CDMA 技术的矿井无线通信系统设计与应用[J].工矿自动化,2008(4):56-58.
- [2] LEE M J. Wavelet Domain Communication System (WDCS): Packer-based Wavelet Spectral Estimation and M-ary Signaling[D]. Wright-Patterson AFB: Air Force Institute of Technology, 2001.
- [3] ROBERTS M L, TEMPLE M A, MILLS R F, et al. Interference Suppression Characterization for Spectrally Modulated, Spectrally Encoded Signals[J]. IEEE Electronic Letters, 2006, 42(19): 1103-1104.
- [4] 任清华,李正刚.变换域通信系统及抗干扰性能仿真[J].空军工程大学学报:自然科学版,2009(2):86-90.
- [5] 史军,迟永钢,张乃通.变换域通信系统:原理、技术与发展趋势[J].南京邮电大学学报:自然科学版,2009, 29(1):87-94.
- [6] 郭彩丽,冯春燕,曾志民.认知无线网络技术及应用[M].北京:电子工业出版社,2007.
- [7] 徐明远,邵玉斌. MATLAB 仿真在通信与电子工程中的应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2005.