

扩频技术在矿井透地通信系统中的应用与仿真*

张从力, 史记征

(重庆大学 自动化学院, 重庆 400030)

摘要: 为了提高矿井移动通信系统的可靠性和稳定性, 首先采用电磁波理论和信息论对透地信道进行深入分析; 提出采用扩频技术是解决透地通信接收信号微弱和干扰严重的有效方法, 并建立了基于 SystemView 的通信系统仿真模型。通过对仿真结果和系统的误码率特性分析表明, 该系统可以有效抑制干扰, 实现信号可靠传输, 为矿井移动通信的发展提供了重要的理论依据。

关键词: 透地通信; 大地媒质; 天线设计; 扩频技术; 仿真

中图分类号: TN929.4

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)01-0051-03

Application and simulation of spread spectrum technology in mine through-the-earth communication system

Zhang Congli, Shi Jizheng

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: In order to improve the reliability and stability of mine mobile communication system, this paper firstly analyses the through-the-earth communication by using the theory of electromagnetic wave and the basic principle of the information theory. On the basis of the analysis, it put forward an effective method to solve weak signal receiving and serious interference with spread spectrum technology. Simulation model of the communication system is established based on SystemView. The simulation result and BER characteristics analysis indicate that the system can suppress the interference effectively, transfer the signal reliably, which provides important theory basis for development of mine mobile communication.

Key words: through-the-earth communication; earth media; antenna design; spread-spectrum technology; simulation

透地通信是一种以分层大地作为传输媒质, 利用无线电波直接穿透大地来实现地面与井下信息交流的无线通信技术。透地通信的传输介质是分层大地, 因此当矿井突发坍塌、井底透水等灾害事故时, 通信设施不会遭到太大的损害, 被认为是最可靠的应急救援通信手段。然而透地信道的干扰、严重衰减以及弱信号接收困难等问题的存在, 使得透地通信系统的研究进展十分缓慢。根据扩频通信系统抗干扰能力强、可以在很低的功率谱密度条件下可靠地工作, 甚至信号电平在一定噪声的“淹没”下也能有效通信的特点, 本文将扩频技术应用到矿井透地通信系统中, 并设计出系统的仿真模型, 给出了仿真结果, 证明了本文方法的有效性和优越性。

1 矿井透地信道特性分析

1.1 透地信道的衰减特性

本文中把透地通信信号的传输媒质(大地)看作是均匀的、电导率有限的媒质, 这种假设有利于建立信号沿矿井无线通道传输过程的数学模型。

依据上面的假设, 可得平面电磁波的复数形式麦克斯韦(Maxwell)方程为^[1]:

$$\nabla \times E = -j\omega\mu\vec{H} \quad (1)$$

$$\nabla \times E = -j\omega\varepsilon_k\vec{E} \quad (2)$$

其中, ω 为角频率, μ 为磁导率, $\varepsilon_k = \varepsilon - j\frac{\sigma}{\omega}$ (ε 为岩层的介电常数, σ 为岩层的电导率) 为复介电常数。对式(1)、(2)取旋, 得到矢量波动方程, 若以平面波方式表达, 略去电场传播规律, 则可写成:

* 基金项目: 中央高校基本科研业务费资助项目(CDJXS11150014)

网络与通信

Network and Communication

$$E = E_0 e^{-(\beta + i\alpha)\gamma} \quad (3)$$

其中, γ 为传播方向的矢径; E_0 为常矢量, 代表电场矢量的起始振幅与极化方向; β 为幅值衰减系数; α 为相位衰减系数。

由式(3)可知, 电磁波的振幅沿传播方向按 $e^{-\beta\gamma}$ 呈指数规律衰减。其中,

$$\alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} + 1} \quad (4)$$

$$\beta = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2} - 1} \quad (5)$$

其中, μ (H/m) 为媒质的磁导率 (与空气中的磁导率 $4\pi \times 10^{-7}$ H/m 基本相等), σ (S/m) 为媒质的电导率, ϵ (F/m) 为媒质的介电常数, ω 为发送电磁波的角频率^[2]。在透地通信中, 为了使发送信号到达地下接收点时具有较高的功率 (即使 β 尽量小), 发射频率应较低, 而大地媒质的介电常数又较大, 满足 $\sigma \gg \omega\epsilon$, 即 $\frac{\sigma}{\omega\epsilon} \gg 1$, 从而可得 α 、

β 的简化表达式为:

$$\beta = \alpha = \sqrt{\pi f \mu \sigma} \quad (6)$$

由式(6)可得: 媒质电导率 σ 与发送端电磁波频率 f 的大小决定了电磁波信号穿透地层的深度。各地矿井的煤层深度不同, 因此其电导率 σ 也不同, 从而使得其穿透深度也不同; 电磁波的频率 f 越高, 幅值衰减就越严重, 穿透能力越弱, 传播距离就越短。根据以上的分析可知: 在透地通信系统中必须保证电磁波工作在甚低频段 (VLF3~30 kHz)。

1.2 透地信道的干扰特性

信道中的干扰是决定通信质量好坏的最主要因素, 并且透地通信系统中有些设备的灵敏度极高。事实上, 矿井无线通信的干扰主要包括工业和自然的各种干扰电平。

地面上的长波、高压输电线和超声波波段的无线电广播台是常见的工业干扰源。阴雨天气时, 雷电放电在岩层中感应出的宽频谱电磁场、大地恒定电场的波动都会对透地通信系统造成很大影响, 是很常见的天然干扰源。

地下矿井通道里的主要干扰源是电力电缆网络和各种机电设备。这些网络和设备可能会产生巨大的脉冲电流流散到周围的岩层中, 这些电流在各个方向的分量将对透地通信系统造成严重的干扰。

2 矿井透地通信系统天线设计

由于透地通信系统中使用的信号频率极低以及各种干扰可能通过不同途径到达接收点, 因此要想实现穿透地层的无线电信号可靠传输, 设计良好的发射和接收天线装置是极其重要的。

在矿井低频无线通信中, 一般是利用电磁波的近区到中间区的场实现信号传输。当天线装置的经典计算推广到半导电媒质时, 会导致对天线装置效能估计的非单

值性。

由天线知识可知, 天线上的电流是按照有耗长线的规律分布的。当天线尺寸较小时, 若用终端开路形式, 天线的有效长度只有实际长度的一半, 辐射能力减弱, 需要在天线回路中串入较大的电感才能调谐。串入大电感将引起较大的功率损耗, 从而使得整个系统的效率降低, 并且大功率的发射装置将引起较多的电能消耗, 这对矿难发生后的救援十分不利。若天线采用终端短路形式, 则电流的分布比较均匀, 辐射能力增强, 而且输入阻抗的电抗分布为小感抗, 容易和发送装置匹配^[3]。

根据以上分析, 本文选择 90 m 长的终端短路单极天线作为发射和接收天线, 天线长度应满足 $l \ll \lambda$ 。因此, 可以将天线视作水平电偶极子。

3 透地扩频通信系统方案

3.1 系统方案的原理

扩频通信是基于信息论和抗干扰理论的信息传输方式, 它的理论依据是信息论中的香农 (Shannon) 公式:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (7)$$

其中, C 为信道容量 (信息传输速率), B 为信号频带宽度, S 为信号功率, N 为白噪声功率。由式(7)可以看出, 信道容量 C 为常数时, 带宽 B 与信噪比 S/N 可以互换, 既可以通过增加带宽来降低系统对信噪比 S/N 的要求, 也可以通过增加信号功率降低信号的带宽。但是, 由信息论的理论知, 当 B 增加到一定数值后, 信道容量 C 是有上限值的。

建立通信系统的目的是传输消息, 消息中信息的多少用信息量 I 表示, 消息要实现传送必须首先转换成电信号, 接收到的电信号具有一定的带宽 B_s 、持续时间 T_s 和功率 P_s , 同时信道中也有其他干扰功率 P_n ^[4]。

$$\ln \left(\frac{P_n + P_s}{P_n} \right) = H_s$$

$$H_s B_s T_s = V_s$$

$$I / V_s = N$$

其中, V_s 为信号体积, H_s 为信号的动态范围, N 代表单位信号体积所荷载的信息量。系统的可靠性会随着 N 的增大而降低, 且 $N_{\max} = 1$, 当 $N > 1$ 信息就不能正确接收。可见, 通信系统的有效性和可靠性是相互矛盾的。

根据前面的分析可知, 在透地通信系统中, 天线的辐射效率很低, 而且透地信道的衰减十分严重, 使得接收点的信号十分微弱。 V_s 、 H_s 较小使得 N 较大, N 值的变大将使通信十分不可靠, 以致于 $N > 1$ 时无法进行通信。解决此问题的方法有两种: 增大信号体积 V_s 和减少每次传输的信息量 I 。具体的措施有:

(1) 增大 T_s , 通过传输延时换取可靠性。显然这不满足生产调度及矿难救援的要求。

(2) 增大信号的动态范围 H_s , 即增大发信功率 P_s ,

网络与通信 Network and Communication

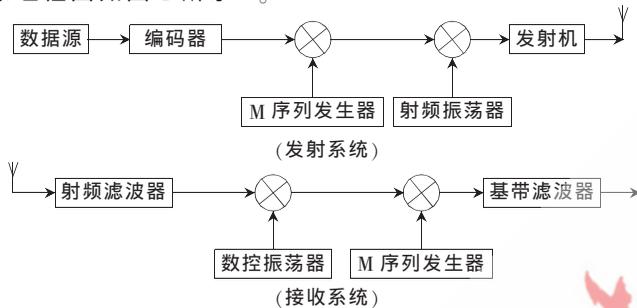
也就是用较大的功率消耗换取可靠性。但矿难发生时井底下的电能有限。

(3) 增大信号带宽 B_s , 也就是用增大频带换取可靠性。这是解决透地通信系统中信号发送、接收问题的有效途径, 这样做将使通信系统的误码率显著下降。

而扩频通信就是用带宽远远大于发送信息所需最小带宽的信号传输数据, 以达到使通信误码率下降的目的。

3.2 扩频通信系统框图及分析

根据以上对透地信道和天线特性的分析, 本文在设计透地通信系统时采用直接序列扩频技术 (DSSS), 其原理框图如图 1 所示^[5]。



编码器的作用是对数据源的基带信号进行处理, 然后与 M 序列发生器产生的伪随机码进行模 2 加, 从而得到扩频序列, 以对载波进行调制, 最后把信号由天线发射出去。在接收端, 需要经过解扩和解调才能恢复出原始序列。

4 系统仿真

4.1 仿真模型的建立

本文采用基于 Windows 平台的 SystemView 通信系统仿真软件^[6-7]。系统总体仿真模型如图 2 所示。



4.2 仿真结果及分析

系统运行时, 各参数的设置在图 2 中已注明。图 3 所示为仿真系统一次运行时 SystemView 分析窗口的运行结果。

从图 3(a)和图 3(g)可以看出, 发送信号经透地信道传输后, 在接收端能够得到不失真的原始信号, 只是存在一定的时间延迟。



为了进一步验证该设计方案是否具有较高的可靠性和可行性, 再从系统误码率的角度进行分析。多次仿真结果的 BER/SNR 曲线如图 4 所示。

从图 4 可知, 信噪比与系统的误码率成反比例, 说明本文的方案是可行的, 可以实现可靠的透地通信。

本文提出的直接序列扩频方法能有效解决透地通信中干扰严重和弱信号接收问题, 基于该扩频方法的矿井透地通信系统的应用将使矿井生产的安全系数、生产

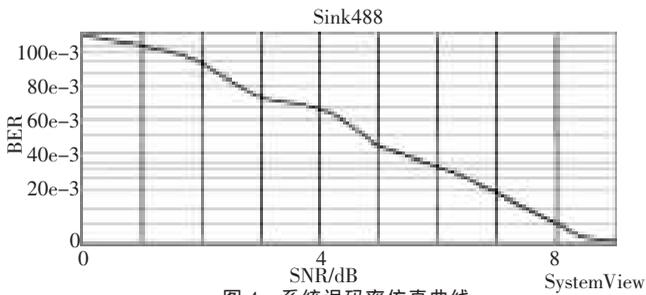


图4 系统误码率仿真曲线

效率和自动化程度得到显著提高,较大程度上满足矿井安全生产、抢险救灾的需求,推动矿井移动通信的发展,同时使通信系统成本大大降低,带来巨大的经济和社会效益。

参考文献

- [1] 张清毅,朱建铭.透地通信信道特性的研究[J].电波科学学报,1999,14(1):36-40.
- [2] 刘凌志.无线电波在大地媒质中的传播特性研究[D].西安:西安科技大学,2004.

- [3] 陶晋宜.甚低频电磁波穿透地层矿井通信系统天线装置的研究[J].太原理工大学学报,2007,30(2):139-143.
- [4] 司徒梦天.解决地下通信技术难题的方案及关键设备[J].中国工程科学,2001,18(7):64-69.
- [5] 韦惠民.扩频通信技术及应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2007.
- [6] 刘正琼.基于 SystemView 的扩频通信仿真与分析[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2006(7):843-845.
- [7] PIERRE L E. Summary study of underground communications technologies [R]. Ottawa, Ontario, Canada: CANMET Mining and Mineral Sciences Laboratories,2009.

(收稿日期:2012-06-13)

作者简介:

张从力,男,1960年生,硕士,教授,主要研究方向:煤矿安全技术与自动化仪表。

史记征,男,1986年生,硕士研究生,主要研究方向:煤矿移动通信技术。

电子技术应用

APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNOLOGY

www.ChinaAET.com