

文章编号: 1671- 251X(2010) 05- 0043- 05

# 矿井环境下基于 MB- OFDM 的 UWB 系统建模及性能分析

王 鑫, 孙彦景, 钱建生

(中国矿业大学信电学院, 江苏 徐州 221008)

**摘要:** 针对超宽带无线通信系统 UWB 在矿井环境下的多径传播所造成的频率选择性衰落, 提出将具有抗多径时延等优势的多频带正交频分复用技术 MB- OFDM 应用到井下 UWB 系统中。为了弥补 S- V 模型在信道衰落环境下的不足, 将传统的信道冲击响应转换为一个独立的角度脉冲响应, 建立一个基于修正的信道模型。结合修正的信道模型, 对基于 MB- OFDM 的矿井 UWB 系统进行建模, 给出了频带的划分方式、信道的改造办法、无线系统的设计方案等。在矿井复杂环境下对系统模型进行性能分析仿真, 结果表明, 该系统能有效抵抗多径衰落, 具有抗噪声能力强、误码率低、覆盖范围远等优点。

**关键词:** 矿井; 超宽带; 无线通信; 频率选择性衰落; 多频带正交频分复用; 角度脉冲; 信道模型; 系统建模

中图分类号: TD655; TN925 文献标识码: A

## Modeling of UWB System Based on MB- OFDM in Coal Mine Environment and Its Performance Analysis

WANG Xin, SUN Yanjing, QIAN Jiansheng

(School of Information and Electrical Engineering of CUMT., Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** For frequency selective fading of UWB wireless communication system caused by multipath spread in coal mine environment, applying MB-OFDM technology with advantage of anti-multipath delay in underground UWB system was proposed. In order to make up for traditional S-V model's defect in fading channels, traditional channel impulse response was changed into an independent angle impulse response, and a revised channel model was built. With the revised channel model, a model of UWB system based on MB-OFDM was built, and the band division scheme, reform approach for channel and design scheme of wireless system were given. The model of the system was simulated in complex coal mine environment and the results showed that the system can be effective against multipath fading and has high anti-noise ability, low bit-error rate, and large coverage range.

**Key words:** mine, UWB, wireless communication, frequency selective fading, MB-OFDM, angle impulse, channel model, modeling of system

## 0 引言

矿井 UWB(超宽带)一直是煤矿无线通信领域

收稿日期: 2010- 01- 08

基金项目: 江苏省高新技术重大项目(BG2007012), 中国矿业大学科技基金项目(OC080303)

作者简介: 王鑫(1984- ), 男, 山东莱州人, 中国矿业大学信电学院在读硕士研究生, 研究方向为超宽带无线通信。E-mail: wangxinshandong@tom.com

的研究热点<sup>[1~5]</sup>。参考文献[1~2]从 UWB 自身优势方面入手, 结合煤矿井下通信的特点, 探讨了 UWB 在矿井通信中系统方案的选择及应用的场合等问题。参考文献[3~4]对超宽带无线系统在巷道通信中的应用进行了分析, 从理论上说明 UWB 系统在矿井巷道中的应用。参考文献[5]从信道路径损耗的角度分析了 UWB 信号在矿井巷道中的传播特性。但这些文献中并没有给出具体的系统模型。

且各个 UWB 设备之间或 UWB 设备与其它无线通信设备之间的干扰情况不同, 以及不同巷道的干扰情况也不同, 是 UWB 系统在矿井巷道应用所面临的问题。

为了有效克服矿井巷道的诸多特性(如路径损耗、多径性能、信道能量衰减不同等), 本文利用划分为若干子信道的 MB-OFDM(多频带正交频分复用)技术抗多径时延等优势, 结合信道的损耗模型, 对原有的 IEEE802.15.3a 的信道进行了改造, 建立一个基于 MB-OFDM 的 UWB 系统, 在恶劣(LOS)环境下能够同时保证超宽带速率高, 且满足抗干扰的要求。

### 1 信道模型的选择

煤矿井下通信环境中, 接收端信号由大量经过反射、绕射和散射的多径信号叠加而成<sup>[5-6]</sup>。信道模型选用 IEEE802.15.3a 推荐的 S-V 模型, 该模型是基于簇的信道模型。

基于时频交织(TFI)的 MB-OFDM-UWB 技术, 将 3.1~10.6 GHz 频段划分为 14 个带宽为 528 MHz 的子带、5 个频带组<sup>[7-8]</sup>。为了避免造成更大的复杂性和更多功耗, 本文所阐述的 UWB 系统仅采用第一子频带组, 即第 1、2、3 子频带, 中心频率分别为 3 432 MHz、3 960 MHz 以及 4 488 MHz。而模型给出的信道反映的是 2~8 GHz 之间 6 GHz 带宽的传输特性, 而实际的系统主要使用 3.168~4.752 GHz 前 3 个子带。因为多径信道是典型的具有频率选择性的信道, 所以不同的频段和带宽会有不同的频率响应特性, 也会具有不同的时间分辨率, 这样必须对信道加以改造, 改造后的信道也将同时体现不同子带的特性, 同时适应不同的信息速率。

以第一个带宽为 528 MHz 的子带 3.168~3.696 GHz 为例来说明信道的改造。首先, 用一个带通滤波器(BPF)取出  $h(t)$  中的 3.168~3.696 GHz 段, 对不同的频率段可根据其频率成分的不同而采用不同的抽样率, 达到既满足抽样定理又最大限度地减小数据量的目的, 而且满足数字系统的传输时钟  $T_P$ , 所以要进行信道插值和抽取。

带通滤波器取出的频率段真正反映了 3.168~3.696 GHz 段的频率特性, 设为  $h_1(t)$ , 其多径分辨率仍为 0.167 ns, 将其变成分辨率为  $T_P$  的  $h(t)$ , 也就是将抽样率转变为  $T_P/T$  倍, 先对信号作  $N$  倍的插值, 经过低通滤波器, 再作  $M$  倍的抽取, 且  $T_P/T = N/M$ 。改造过程如图 1 所示。

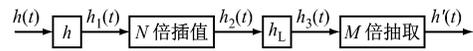


图 1 信道改造过程

## 2 系统模型的建立

### 2.1 修正的信道模型

具体来讲, S-V 模型的信道冲击响应可以表示为<sup>[7]</sup>

$$h(t) = X \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^{K(n)} \alpha_{nk} \delta(t - T_n - \tau_{nk}) \quad (1)$$

式中:  $X$  为对数正态随机变量, 代表信道的幅度增益;  $N$  为观测到的簇的数目;  $K(n)$  为第  $n$  簇内接收到的多径数目;  $\alpha_{nk}$  为第  $n$  簇中第  $k$  条路径的系数;  $T_n$  为第  $n$  簇到达时间;  $\tau_{nk}$  为第  $n$  簇中第  $k$  条路径的时延。

$\overline{\alpha_{nk}^2} = \overline{\alpha_{00}^2} \exp(-T_l/\Gamma) \exp(-\tau_{nk}/\lambda)$ , 由于 UWB 多径成簇的特点, 簇和簇里面的径到达的时间分别为

$$p(T_l/T_{l-1}) = \Lambda \exp[-\Lambda(T_l - T_{l-1})] \quad (l > 0)$$

$$p(\tau_{kl}/\tau_{k-l,l}) = \lambda \exp[-\lambda(\tau_{kl} - \tau_{k-l,l})] \quad (k > 0, l > 0)$$

其中,  $\Lambda$  为簇到达的速率;  $\lambda$  为各个簇内多径到达的速率;  $\Gamma$  为簇的功率衰落因子。

在时域范围内室内多径传播信道, 表现为成簇分布的规律, 且跟多径分量的到达时间和到达角度密切相关。因此, 信道模型写成跟时间及方位角有关的脉冲响应表达式:

$$h(t, \theta) = X \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^{K(n)} \alpha_{nk} e^{j\theta_k} \delta(t - T_n - \tau_{nk}) \quad (2)$$

如果多径分量的到达时间和到达角度之间存在相关性, 那么簇均方的更大角度的偏移将导致更长的时延。而国外的研究实验中发现其信道特性并不满足这一点, 因此在这里可以认为时间和角度之间是独立的<sup>[5]</sup>, 可以将  $h(t, \theta) \approx h(t)h(\theta)$ , 将  $h(\theta)$  完全独立出来, 故有:

$$h(\theta) = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^{K(n)} \delta(\theta - \omega_k) \quad (3)$$

式中:  $h(\theta)$  是一个独立的角度脉冲响应, 可以认为该响应是一个与信道的时间脉冲响应类似的模型;  $\omega_k$  为第  $k$  簇中第  $n$  径的到达角度。

表 1 给出了矿井巷道内探测信道的环境特征和仿真所需的信道模型参数。主要径的取法通常是取功率在峰值功率(最强径)的 10 dB 内, 或功率和为总功率的 85% 的径。因此, 为了确定参数值, 首

先必须求出这些特征参数的统计量。得到这些统计量之后,再通过拟合的方法即可得到上述参数值。由于矿井巷道与室内各种信道的环境差异较大,经过拟合得到的参数也反映出不同特点。

表 1 探测信道的环境特征和信道模型参数

信道数量	信道特征	$\lambda / (1/\text{ns})$	$\lambda / (1/\text{ns})$	$\Gamma$
500	极端恶劣	0.066 7	2.1	36
$\gamma$	$\sigma_{\xi} / \text{dB}$	$\sigma_{\epsilon} / \text{dB}$	$\sigma_{\delta} / \text{dB}$	类型
24	3.3941	3.394 1	3	LOS

$\gamma$  为簇内径的功率衰落因子;  $\xi$  为簇的信道系数标准偏差(对数正态分布);  $\epsilon$  为簇内径的信道系数标准偏差(对数正态分布);  $\delta$  为信道幅度增益的标准偏差(对数正态分布)。采用上述参数,对该信道环境下多条信道进行仿真,得到的冲激响应曲线如图 2 所示。

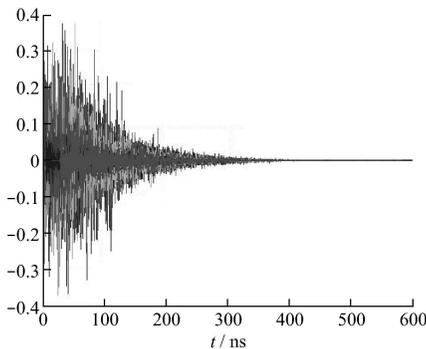


图 2 离散信道冲激响应曲线

在图 2 中能明显观察到多径成簇,这与实际测量中 UWB 多径成簇现象相验证。这是多径衰落信道中的典型结果,再就是可以看到接收功率呈现指数衰减。在 300 ns 后,功率衰减趋于零,在短时间内容达到减小功耗的效果。

### 2.2 MB-OFDM

MB-OFDM 是一种特殊的多载波调制(MCM)方式,它将一个较宽的频带划分为若干个子频带。

采用 MB-OFDM 调制解调方式,当子载波数较大时,各子载波幅度谱叠加的总信号的幅度谱有很好的矩阵特性,因此可以使 UWB 系统达到很高的频谱利用率。根据各个 UWB 设备之间或 UWB 设备与其它无线通信设备之间的干扰情况,以及不同矿井巷道的不同干扰源,可以降低一个或多个子频带的发射功率,或取消一个或多个子频带的发射,以有效降低干扰。还可以通过抑制相应的子载波,更加精确地控制合成信号的频谱形状。

### 2.3 仿真模型

建立的基于 MB-OFDM 的矿井 UWB 通信系

统 Simulink 仿真模型如图 3 所示。

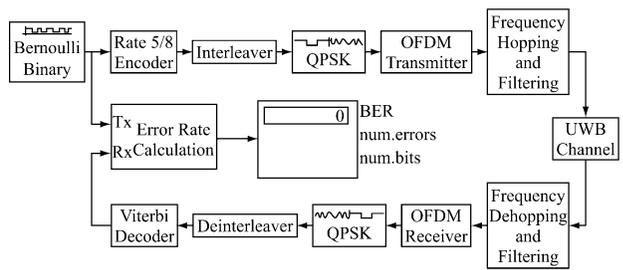


图 3 基于 MB-OFDM 的矿井 UWB 无线通信系统 Simulink 仿真模型

OFDM 合成信号的产生方法与传统的 OFDM 系统类似,只是符号长度、子载波间隔、循环前缀长度等的具体参数与传统系统有较大差别。信号经天线发射出去,经过修正后的 UWB 信道到达接收端。信号经过逆映射、解交织、解扰等处理,最后输出相应的数据。

## 3 性能仿真分析

### 3.1 性能指标

信号信噪比(SNR)的完全同步和符号间干扰是各种同步的结果,包括完全同步、不完全的定时同步、不完全的频率同步以及不完全频率和时间同步。造成了信道间干扰(ICI)和符号间干扰(ISI)的产生。除了衰落和干扰,接收信号还受到 AWGN(加性高斯白噪声)的影响,其差异值为  $N_0$ 。平均每 QPSK(四相相移键控)符号的信噪比可以被界定为

$$\overline{\gamma_s(\xi, \tau)} = \frac{E_s \sigma_{\epsilon}^2}{\sigma_{\xi}^2 + \sigma_{\delta}^2 + N_0} \quad (4)$$

式中:  $E_s$  为平均每 QPSK 符号的功率;  $\epsilon$  为簇的信息系数(ε)标准偏差;  $\xi$  为簇内径的信息系数标准偏差;  $\delta$  为信道中幅度增益的标准偏差。

因为每比特功率  $E_b = E_s/2$ , 所以每比特的平均 SNR 为

$$\overline{\gamma_b(\xi, \tau)} = (1/2) \overline{\gamma_s(\xi, \tau)} \quad (5)$$

另外,可以定义接收端的信噪比为  $\text{SNR}_v$ :

$$\text{SNR}_v = E_b / N_0 \quad (6)$$

式中:  $E_b$  为接收到的每比特的平均功率;  $N_0$  为加性高斯白噪声的单边带功率谱密度,即离散噪声。

平均误码率(BER)被定义为从整个发送端接收到的错误比特的比率,BER 是 OFDM 信道必然存在的。参考文献[8]中,使用了  $|H[k]|^2$  的分布,从中也能获取 OFDM UWB 的平均 BER 的方案。信道模型中的 BER 可分为 2 类: Uncoded BER ( $UC_{BER}$ ) 和 Coded BER ( $C_{BER}$ ),其符号可以定义为

$$\begin{aligned}
 UC_{BER} &= E[Q(\sqrt{2|h|^2 SNR_V})] \\
 &= \frac{1}{2}(1 - \sqrt{\frac{SNR_V}{1+SNR_V}}) \quad (7)
 \end{aligned}$$

式中:  $Q$  为标准正态分布的互补累计分布部分;  $C_{BER}$  为经卷积译码器后被定义的部分;  $h$  为  $E(|h|^2) = 1$  的循环高斯分布。每个编码位产生误码的概率相同。卷积编码器是在一个理想的时频交织之后。

$$C_{BER} \leq \left. \frac{\partial T(U, I)}{\partial I} \right|_{I=1, U=\sqrt{4UC_{BER}(1-C_{BER})}} \quad (8)$$

式中:  $T(U, I)$  为卷积编码器生成的函数。

定义  $d_{free}$  为卷积码的最小自由距离, 定义  $N_b$  为所有输入序列的汉明重量的总和。利用前面的推导过程,  $C_{BER}$  可以表示为

$$C_{BER} \approx N_b [4UC_{BER}(1 - UC_{BER})]^{d_{free}/2} \quad (9)$$

因此, 可以得出

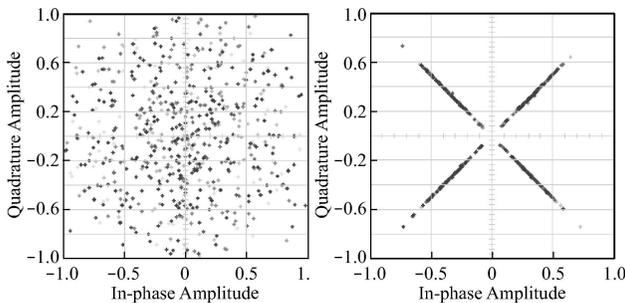
$$C_{BER} \approx N_b [1 + SNR_V]^{-d_{free}/2} \quad (10)$$

### 3.2 仿真分析

仿真实验采用 Matlab 7.0 软件完成, 使用 Simulink 仿真工具箱, 在此平台上对基于 MB-OFDM 的矿井 UWB 通信系统模型进行仿真。首先是在 200 Mbit/s 速率模式、每帧 OFDM 符号数为 60 的情况下, 通过增加有用数据子载波、提高编码速率或者减小循环前缀、保护间隔长度和训练序列长度来提高频带利用率。

#### 3.2.1 抗噪声能力

大量的信号从 OFDM 发射机中发射出来时, 近似地按照多径频率选择衰落的特性来进行。OFDM 的动态范围为 30 dB 左右, 发射机发射的信号通过不同频带进行发射。图 4 为在 UWB 信道环境下, SNR 为 60 dB 时接收信号的星座散列。



(a) 未经信道估计的信号幅度和相位分布 (b) 经信道估计和同步后信号幅度和相位分布

图 4 SNR = 60 dB 时, 无信道估计与经信道估计和同步后, 接收信号的星座散列

从图 4 可看出, 在没有经过信道估计的情况下, 信号的幅度和相位都发生了严重的偏移; 然而在经

过信道估计和同步后, 相位得到了完全纠正, 接收机信号分布图呈分布均匀的 X 状。

#### 3.2.2 误码率

图 5 为系统误码率 (BER) 随信噪比 (SNR) 变化的曲线, OFDM 在 QPSK 调制下, 对各个参数进行仿真。OFDM - UWB 无线系统的子带带宽为 528 MHz, 信噪比范围为 8~17 dB。

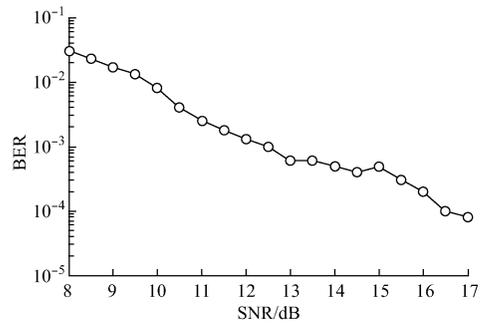


图 5 系统误码率随信噪比变化的曲线

信噪比提高时, 误码率曲线下降。在 14~15 dB 之间有一个转折点。

#### 3.2.3 覆盖范围

系统的数据传输速率分别为 110 Mbit/s、480 Mbit/s 时, 信道可通率不小于 90%, 系统的传输距离与误包率 (PER) 的关系如图 6 所示。

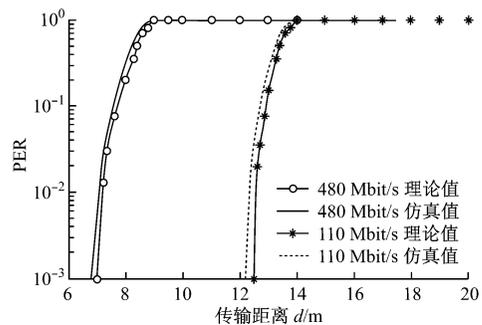


图 6 110 Mbit/s、480 Mbit/s 时, PER 随传输距离变化的曲线

从图 6 可以看出, 实际的仿真值跟理论值非常接近, 而仿真值跟理论值差异的根本原因是信道系数  $h(t)$  的不同分布。从上述仿真数据和图形得出的结论验证了理论的正确性和可行性。

### 4 结语

本文利用 MB-OFDM 技术抗多径时延等优点, 结合修正的 UWB 信道损耗模型, 建立了一个基于 MB-OFDM 的矿井 UWB 系统模型。通过仿真证明, 该系统能有效抵抗多径衰落, 具有抗噪声能力强、误码率低、覆盖范围远等优点。但该系统在遇到

文章编号: 1671- 251X(2010) 05- 0047- 04

# 挖掘机提升系统神经网络 PID 控制的研究

寇桂岳, 汤何胜

(贵州大学机械工程学院, 贵州 贵阳 550003)

**摘要:** 建立了 280- B 挖掘机提升系统的数学模型; 针对该系统动态特性的非线性和时变性因素, 提出了一种基于 BP 神经网络的 PID 控制器的设计方案, 该控制器既有经典 PID 控制算法的特点, 又有神经网络良好的自适应和抗干扰能力。Matlab 仿真结果表明, 基于 BP 神经网络的 PID 控制器具有较高的精度和较强的适应性, 可以获得满意的控制效果。

**关键词:** 挖掘机; 提升系统; 神经网络; PID; Matlab

**中图分类号:** TD422      **文献标识码:** A

Research of PID Control Based on Neural Network of Lift System of Excavator

KOU Guiyue, TANG Hesheng

(Mechanical Engineering College of Guizhou University, Guiyang 550003, China)

**Abstract:** The mathematical model of lift system of 280-B excavator was established. In view of nonlinear and time-varying factors of dynamic characteristics of the system, a design scheme of PID controller based on BP neural network was put forward. The controller has characteristics of classical PID control algorithm and good self adaptive and anti-jamming capabilities of neural network. The Matlab simulation result showed that the PID controller based on BP neural network has high accuracy and strong

收稿日期: 2010- 01- 15

作者简介: 寇桂岳(1981- ), 男, 江西上饶人, 助教, 贵州大学机械工程学院在读硕士研究生, 主要研究方向为汽车零部件设计制造。  
E-mail: kouguiyue419@163.com

井下突发情况, 如井下的运煤车经过时, 会受到不同程度的干扰, 因此, 在应对突发情况方面, 还需要进一步研究。

本文建立的超宽带通信系统, 克服了矿井复杂环境的制约, 为矿井无线通信系统的研究提供了较好的仿真平台和实验数据。

参考文献:

- [1] 王艳芬, 于洪珍, 张申, 等. 超宽带无线通信技术在煤矿井下的应用探讨[J]. 工矿自动化, 2005(6): 71-75.
- [2] 郝维来, 杨公训. 基于 UWB 无线通信技术在矿井中的应用研究[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(2): 116-119.
- [3] MARIAGE M L, DEGAUQUE P. Theoretical and Experimental Approach of the Propagation of High Frequency Waves in Road Tunnels [J]. IEEE Trans. Antennas Propagat, 1994, 42(1): 75-81.

- [4] MOE Z W, GEORGE C, NELSON R S. Performance of Rake Reception in Dense Multipath Channels: Implications of Spreading Bandwidth and Selection Diversity Order [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(8): 1516-1525.
- [5] 彭丽, 孙彦景, 钱建生, 等. UWB 矿井巷道无线信道模型[J]. 计算机工程与设计, 2009, 2(3): 582-585.
- [6] 杨维, 冯锡生, 孙继平, 等. 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, 12(4): 328-332.
- [7] 李长青. UWB-OFDM 系统中若干关键技术的研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2006.
- [8] PNG K B, PENG Xiaoming, CHATTONG S, et al. Joint Carrier and Sampling Frequency Offset Estimation for MB-OFDM UWB System [C]. 2008 IEEE Radio and Wireless Symposium, 2008, Orlando: 29-32.