

# 一种差分调制的水声 MC-CDMA 通信系统

李芳兰, 曾 堃, 陈东升, 童 峰\*

(厦门大学水声通信与海洋信息技术教育部重点实验室, 厦门, 361005)

## An MC-CDMA underwater acoustic communication system with differential modulation

LI Fang-lan, ZENG kun, CHEN Dong-sheng, TONG Feng\*

(Key Laboratory of Underwater Acoustic Communication and Marine Information Technology of the MOE, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

### 0 引 言

正交频分复用(OFDM)技术在高速水声通信系统中的应用已得到广泛研究。OFDM 采用并行多载波, 子载波间频谱重叠实现高速传输, 循环前缀的加入则可有效对抗 ISI<sup>[1]</sup>, 然而水声信道中除了相位起伏和多普勒频移造成的解调困难, 频率选择性深度幅度衰落往往造成子载波解码错误<sup>[2]</sup>。

码分多址(CDMA)技术具有用户容量大、抗干扰能力强、抗多径性能好等优点。然而, 传统的 CDMA 系统属于单载波系统, 其数据速率比较低, 限制了其在高速数据通信中的应用。

结合 OFDM 和 CDMA 的多载波码分多址(MC-CDMA)技术在保持 OFDM 信号形式的同时兼有两者优点<sup>[3-4]</sup>, 通过频域扩频后进行多载波并行传输, MC-CDMA 可充分利用扩频码和子载波两重正交性提供频谱效率。

本文研究浅海信道条件下 MC-CDMA 水声通信方案性能。考虑到 OFDM 解调中信道估计技术相对复杂、运算量较大, 本文采用频域扩频后进行差分 OFDM 调制, 从而无需信道估计以降低系统复杂度, 并结合浅海水声信道特点设计、实现了一个水声 MC-CDMA 通信系统技术方案。湖试实验结果初步表明了方案的有效性。

### 1 系统的设计

系统帧同步头采用 20ms 线性调频信号, 后面是带上循环前缀的 MC-CDMA 信号, 系统采样频率为 96KHz, 信号频率范围 13-18KHz, 采用 63 位 M 序列码作为扩频码。

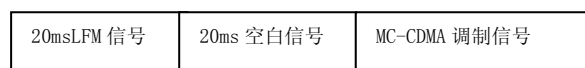


Fig.1 Format of the signal

#### 1.1 MC-CDMA 调制原理

MC-CDMA 采用了 OFDM 的结构, 但比传统 OFDM 增加了将发射数据利用正交扩频码集扩展到多个子载波的过程。

在本文系统中, 发射端扩频调制后的发射数据流映射到星座图上  $\{d_0, \dots, d_{N-1}\}$ , 其中  $d_n = a_n + jb_n$ , 同时构造共轭对称序列。考虑到 OFDM 峰均比的问题, 本文采用随机序列作为 DQPSK 差分调制参考序列, 以改变原序列的输入分布, 同时结合限幅技术进一步抑制发射信号峰均比; 然后将经调制变换后的序列, 映射到  $F_s=96k$  中 OFDM 信号对应的载波频率位置上, 对其进行 IDFT 变换, 得到调制后的信号  $\{s_0, \dots, s_{2N-1}\}$ 。系统原理框图如图 2 所示。

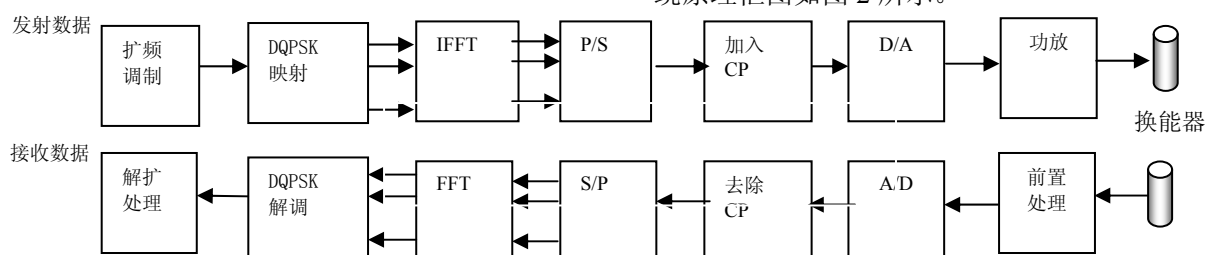


图 2 系统框图  
Fig.2 System Block

$$s_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{2N-1} d_k \exp(j2\pi kn/N) \quad n = 0, 1, \dots, 2N-1 \quad (1)$$

## 1.2 接收端解调过程

由发射信号, 可知系统各参数如下:

$$f_k = \frac{k}{N \cdot \Delta t}, \quad t_n = n \cdot \Delta t \quad (2)$$

式中  $\Delta t$  是采样间隔,  $f_k$  为第  $k$  个载波频率。在接收端:

$$d_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{2N-1} s_n \exp(j2\pi kn/N) \quad (3)$$

再经差分解调后:

$$d_{k,n} = \frac{d_{k,n}}{d_{k-1,n}}, \quad \text{便可恢复出原始扩频序列,}$$

对扩频序列进行解扩处理即实现 MC-CDMA 解调。

## 2 实验结果

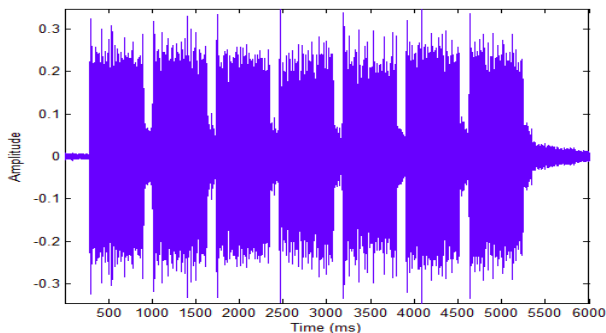


图3 湖试接收信号  
Fig.3 received signal in lake trial

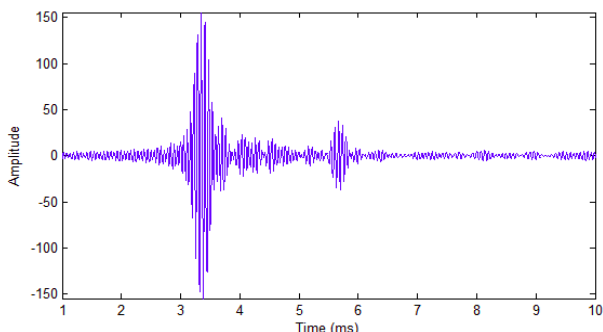


图4 湖试信道响应  
Fig.4 Channel response of lake trial

实验系统采用图 1 所示信号帧格式, 子载波带宽  $\Delta f = 20\text{Hz}$ , 在换能器带宽 13-18KHz 内设置 200 个子载波, 本系统采用 63 位扩频码, 由于采用差

分调制无需设置导频, 每个 OFDM 符号可携带 6 个比特信息, 剩余子载波进行补零。

为了验证系统性能, 在千岛湖水域进行系统测试, 实验水域平均水深 50 米, 实验传输距离 300 米。图 3 给出了湖试接收信号, 湖试信道多径响应如图 4 所示, 从图 4 看出信道具有典型的多径结构及约 3ms 的多径时延扩展。

在湖试中系统工作稳定, 误码率在  $10^{-3}$  量级。

## 3 结 论

湖试实验结果表明, 差分调制 MC-CDMA 系统可结合 CDMA 及 OFDM 的优势并降低系统复杂度: 采用频域扩频可使接收机充分聚焦频域能量抑制深度衰落子载波的影响; 保持 OFDM 体制可采用基带传输方法, 从而避免了载波同步, 简化系统设计; 采用差分调制解调可省去信道估计处理, 进一步降低了系统实现复杂度。湖试中可以观察到本系统由于未进行频偏校正等原因, 仍有一定误码率。在初步验证技术方案可行性的基础上, 下一步工作将增加频偏校正及进行扩频码集优化设计以提高系统性能。

本文设计、实现了一个基于差分调制的 MC-CDMA 水声通信技术, 并进行了基本理论分析以及湖试实验, 初步实验结果表明了该系统在中、近程高性能水声通信中的有效性。

### 参 考 文 献

- [1] J.G.Proakis, Digital Communication[M], NY: McGraw-hill, 1995.
- [2] Sharif B S, Neasham J A, Oliver R Hinton, Alan E Adams. A computationally efficient Doppler compensation system for underwater acoustic communication[J]. IEEE Journal of Oceanographic Engineering Special Issue on Underwater Communication (S978-1-4244-0635-7), 1999, 25(1): 52-61
- [3] 姚燕, 邵世祥. 多载波 CDMA 系统仿真与性能分析[J]. 信息技术, 2007, (10): 81-94.  
YAO Yan, SHAO Shixiang. The simulation and performance analysis of multi-carrier CDMA[J]. Information Technology, 2007, (10): 81-94.
- [4] 孔繁慧, 张学森, 冯海泓. MC-CDMA 技术在水声通信中的应用研究[J]. 声学技术, 2010, 29(4): 433-436.  
Kong Fang-hui, Zhang Xue-sen, Feng Hai-hong. Research on MC-CDMA in underwater Acoustic Communication [J], Technical Acoustics, 2010, 29(4): 433-436.