

# 水声通信网及其多址接入技术

陈 威, 许 茹, 胡晓毅, 张 洁

(厦门大学 通信工程系, 福建 厦门 361005)

**摘要:**随着世界各国海洋开发步伐的加快,对水下传感器网络、水下监视系统、水声预警网络的需求愈来愈迫切,海洋水声通信网络的研究成了世界范围内的研究热点。水声通信网研究面临的主要困难是:海洋声信道的长延时、可用频带有限、严重的时变多途影响、功耗限制、网络安全性等。在分析水下无线通信的特殊环境后,针对水声通信网的多址接入技术进行了研究,选择适合的传输方式及相关协议构建基于 OFDM 与 CDMA 技术结合的水下通信网多载波 CDMA 系统;在 matlab 上实现多载波 CDMA 技术的水声通信网络节点对节点的数据传送,并得出了该系统的仿真结果:在帧长一定的情况下,随着信噪比的增大,系统的误码率会减小。在信噪比一定的情况下,子载波数目的进一步增大不会带来系统误码率的改善反而会使系统复杂性增加,降低系统的平均吞吐量,因此子载波数的选择应该在系统复杂性和效率之间折衷考虑。当水声信道上的信噪比一定时,可以通过控制数据帧的长度和子载波的个数来实现较高的网络平均吞吐量。

**关键词:** 水声通信网; MG-CDMA; 媒体接入协议

中图分类号: T N91

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2007)04-0058-04

随着现代信息技术的飞速发展,覆盖了地面、空中、太空、水面的立体信息网已经形成并为各国的通讯交通资源调查国防等各项业务服务。近年来,随着世界各国海洋开发步伐的加快,发达国家开始对水下声通信网进行研究。水声通信网络(UWN)承担着探测、数据通信的重要使命。它通常由海底传感器、自主式水下运载器(AUV)和水面站组成,水面站可进一步与 Internet 等主干网连接,在这种环境中人们可以从多个水下远程设备提取实时数据,并把控制信息传递给各个设备。

海洋水声信道的传输条件是十分恶劣的,特别是浅海水声信道,信道的带宽有限,取决于距离和频率,在这种有限的带宽内,声信号受强环境噪声、时变多径的影响,可能会导致严重的码间干扰(ISI)、大的多普勒频移扩展及长传输时延。目前,在设计水声网络结构和协议时会借鉴无线电组网技术,但是传统的无线网络协议不能直接应用于水声环境中,在设计水声网络协议时,应该考虑水声通信的特点,在网络延时、传输成功率及能耗之间寻求一种好的折衷<sup>[1]</sup>。

## 1 水声通信网络的分层结构

水声通信网络协议分为三层,由下到上依次为

物理层、数据链路层和网络层<sup>[2]</sup>。

物理层负责数据的调制解调,它把信息转换成在信道中传输的信号。数据链路层的任务是在两个相邻节点间的链路上无差错地传送以帧为单位的数据。数据链路层的上一层是网络层,该层设定下一层如何进行理想的数据传输,功能是路由选择。

## 2 系统方案设计

### 2.1 物理层的设计

物理层位于水声通信网络的第一层,声信号受强环境噪声、时变多径的影响,面临严重的码间干扰(ISI)、大的多普勒频移扩展及长传输时延,因此选用一种适合水声信道传输的方法是十分重要的。

OFDM 技术通过多个正交的子载波将串行的数据并行传输,增大了码元的宽度,减少单个码元占用

收稿日期: 2006-06-30; 修回日期: 2006-12-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(60272028, 60572106); 厦门大学“985”二期信息创新平台项目

作者简介: 陈威(1982)女,江苏海门人,硕士研究生,研究方向:水声通信、信号与信息处理,电话: 0592-2580185, E-mail:

xmuchenwei@tom.com

的频带,抵抗多径引起的频率选择性衰落,可以有效克服码间串扰(ISI),适用于多径环境和衰落信道中的高速数据传输。其信道利用率很高,这一点在频谱资源有限的水声环境中尤为重要。目前 OFDM 技术都可以通过 FFT 技术实现,所以简化了系统的结构。而采用 CDMA 技术,可以利用 CDMA 的扩频码实现多址接入,实现网络中的多个用户同时使用同一频率资源。

OFDM-CDMA 是一种综合技术,它将 CDMA 与 OFDM 两种技术结合为一体<sup>[3]</sup>。这样,一方面满足多个用户对同一资源的共享,另一方面,通过降低子信道码速,起到了抗码间干扰的作用,从而改善了系统的误码性能。

以 CDMA 和 OFDM 为基础提出的多载波 CDMA 方案主要分为两类。一类用给定的扩频码对原始数据进行扩展,然后将每个码片与一个不同的载波进行调制,并在频域上进行扩展操作,称为多载波 CDMA(MC-CDMA)。另一类是用给定的扩频码对经过串并(S/P)转换过的数据流在时域上进行扩展,类似于通常的 DS-SS-CDMA,主要有:多载波 DS-SS-CDMA(MC-DS-SS-CDMA)和多音调 CDMA(MT-CDMA)。

比较这三种方法,多载波 CDMA 的方法结构清晰,即先在频域进行 CDMA 之后再在时域进行 OFDM,这样最终的信号仍为 OFDM 信号,OFDM 与 CDMA 的各自特点得到保留。在 MC-CDMA 系统中,频带被分为  $N$  个并行的载波信道  $f_c + Kf/T_b$ ,其中  $K = 1, 2, \dots, N-1$ ;  $f/T_b$  为各个相邻子载波之间的频率间隔。用户的每一比特信息经  $N$  个 PN 序列扩频后被分配到  $N$  个子信道中,每比特信息被扩频到  $N$  个正交的子载波上并行传送。这样,在频率选择性衰落信道中,如果某一子信道衰减严重,也就是相当于扩频码的某一码元受损,由于扩频码很长,对传输误码率影响不大。因此系统中物理层的设计采用 MC-CDMA 的方法。图 1 与图 2 即为 MC-CDMA 系统的发射机与接收机的框图。图 1 中经过 PN 序列扩频的数据,被分配到  $N$  个子信道中,每比特信息被扩频到  $N$  个正交的子载波上并行传送。图 1 中的  $\omega$  与  $\theta$  分别代表各个子载波的频率与相位,其中  $\omega_k = 2\pi(f_c + Kf/T_b)t$ 。图 2 中将接收到的用户的信号分别与各个子载波频率和 PN 码的各个码片  $C_m[K]$  相乘后再经过串并转换即可得到解调后的有效信号。

## 2.2 数据链路层的设计<sup>[4]</sup>

UWA 信道的资源是相当有限的,这些有限的资源应利用媒体接入协议公平有效地得到分享。对于靠电池供电的水声网络来说,面对水声信道的多变性和强干扰性,降低电池的消耗,延长网络寿命,保证系统的可靠性是十分重要的。

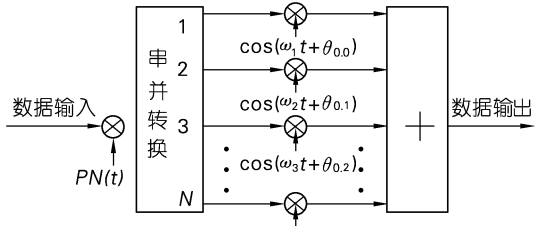


图 1 MC-CDMA 的发射机框图

Fig. 1 The diagram of the MC-CDMA Transmitter

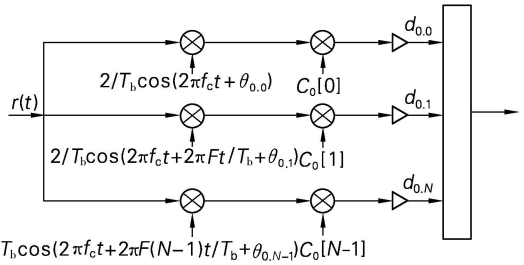


图 2 MC-CDMA 的接收机框图

Fig. 2 The diagram of the MC-CDMA Receiver

MACA 协议使用了两种信号分组,请求发送(RTS)和允许发送(CTS),如果在信息中有一个(或多个)差错分组,那么信宿节点要请求信源节点重发,因此,ARQ 过程不在通信路由的每两个节点之间执行,仅在信源和信宿节点之间执行。这不仅解决了“隐蔽终端”和“暴露终端”的问题,而且避免了数据包大量重发,适合靠电池供电的水声网络通信节点。

目前差错控制和流量控制采用反馈机制,包含三种协议,停止等待 ARQ、退  $N$  帧 ARQ 及可选择性重传 ARQ 协议。停止等待 ARQ 是最简单的一种方法。在发送下一个数据分组之前,分组信源等待信宿的 ACK,假如预设时间已过仍没接收到 ACK,信源重发该分组,在往返传输期间,信道是空闲的,退  $N$  帧和可选择性重传 ARQ 协议需要全双工链路。接收和发送分配专用频带时的频分双工会降低系统的数据传输速率。基于水声信道可用频带窄、干扰大的特性,数据链路层差错控制与流量控制协议选择为:停止等待 ARQ 协议以及 MACAW 协议,即 RTS-CTS-DATA-ACK 的握手机制。图 3 即为系统的发送接收协议仿真的程序流程图。

## 3 仿真模型建立

### 3.1 仿真背景

为了验证方案的可行性,本次设计先是基于高斯白噪声信道仿真的。有关参数选取如下:

换能器带宽: 10~20 kHz; 采样率: 100 k; 时延: ms 级; 频带 13~18 kHz(水声信道要求)。

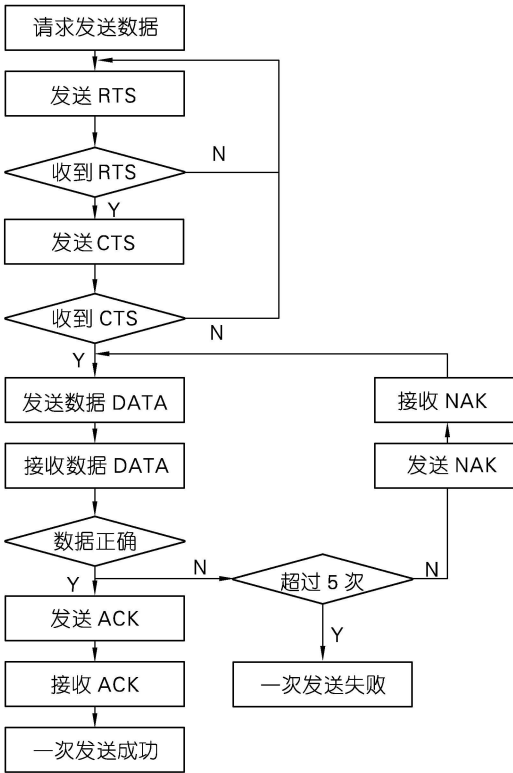


图 3 发送接收程序流程

Fig. 3 The flowchart of the transmitting and receiving program

水声通信的最佳频率是 30 kHz 以下,而换能器的带宽为 10~20 kHz,因此选用的载波频率定为 13~18 kHz。图 4 为 MG-CDMA 仿真系统物理层原理框图。

图中信源为 200bit 的随机数字信号,卷积编码采用的是编码效率为 1/2,生成多项式为 [171, 133] 的 (2, 1, 7) 卷积码,判决方法为 Viterbi 译码。其中的扩频与解扩就是与 PN 码序列相乘,而 PN 码的选择直接影响到 CDMA 系统的容量、抗干扰能力、接入和切换速度等性能。CDMA 信道的区分是靠 PN 码来进行的,因而要求 PN 码自相关性要好,互相关性要弱,实现和编码方案简单等。作者采用一种基本的 PN 序列——m 序列作为地址码。

### 3.2 系统仿真结果

运行程序前要先明确几个参数之间的关系:

$$\text{载波数 } N = 2^n - 1 = \text{频带} / \text{载波间隔}$$

$$\text{载波间隔} = \text{采样率} / \text{FFT 长度}$$

其中,频带为 5 kHz(水声信道频带 13~18 kHz),采样率取 100 k,  $n$  为  $m$  序列阶数,  $N$  为载波个数。而网内的用户数等于子载波数,是随着子载波数的增加而增加的。图 5 是帧长为 200Bit 时信噪比与误码率的关系图。

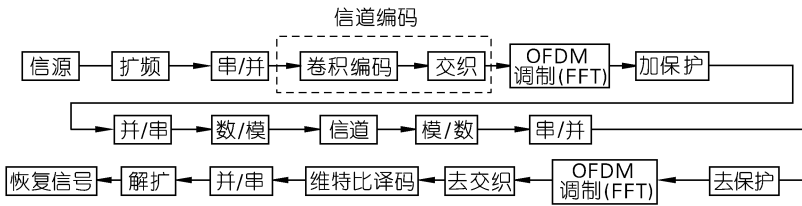


图 4 MG-CDMA 仿真系统物理层原理框图

Fig. 4 The schematic diagram of the physics layer in MG-CDMA emulate system

图 5 的仿真结果说明:在 MG-CDMA 系统中,随着信噪比的增大,系统的误码率会随之降低。采用 MG-CDMA 技术后,系统在信噪比为 5 dB 时,误码率基本上能达到  $10^{-4}$ ,体现了系统良好的抗干扰性。而子载波数  $N$  在满足每个子信道均为非频率选择性衰落信道后,进一步增大不会带来系统误码率的改善,因此  $N$  的选取不能太大。但如果  $N$  的取值太小,在水声通信网中能分辨的用户数会降低,且保护时间在一帧信号中所占比重就会较大,系统频谱效率变差,从而会导致系统整体性能变差。因此子载波数目  $N$  的选择应该在系

统复杂性和频谱效率之间折衷考虑。

图 6 为在信噪比一定的情况下数据帧长与平均吞吐量的关系图,帧长为有效数据的长度。由此可见,在信噪比以及子载波数一定的情况下,平均吞吐量基本上随着帧长的增长而增大,但是增长的速度趋于平缓。在信噪比以及帧长一定时,平均吞吐量随着子载波数的增加而减小,为提高网络的平均吞吐量可适量减小子载波数  $N$ 。而  $N$  的减小会使得在水声通信网中能分辨的用户数会降低。所以在架构水声网络时应考虑用户数与帧长的选择。

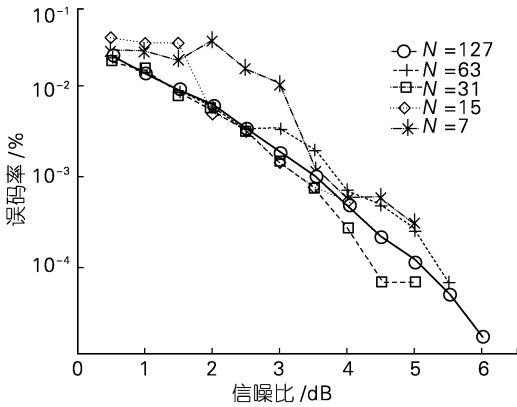


图5 信噪比-误码率的关系图

Fig. 5 The graph of a relation of SNR and BER

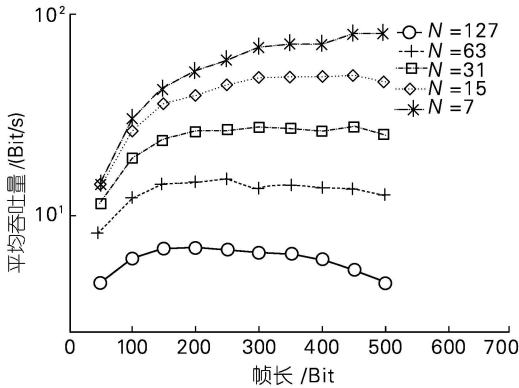


图6 发送数据数与码率的关系图

Fig. 6 The graph of a relation of the number of the data and the code rate

## 4 小结

本研究内容主要是对水声通信网络的物理层和数据链路层进行设计与仿真。从仿真的实验结果可以看出:在帧长一定的情况下,随着信噪比的增大,系统的误码率会减小。同时在信噪比一定的情况下,子载波数目  $N$  的进一步增大不会带来系统误码率的改善反而会使系统复杂性增加,降低系统的平均吞吐量,因此  $N$  的选择应该在系统复杂性和效率之间折衷考虑。当水声信道上的信噪比一定时,可以通过控制数据帧的长度和子载波的个数来实现较高的网络平均吞吐量。

参考文献:

- [1] 许克平,许天增,许茹,等. 基于水声的水下无线通信研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2001, 2: 311-319.
- [2] 吕中志. 水声通信网络中数据链路层协议研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学, 2005.
- [3] 佟学俭,罗涛. OFDM 移动通信技术原理与应用[M]. 北京:人民邮电出版社, 2003. 188-210.
- [4] 陶秀云. 水声网络[J]. 声学及电子工程, 2004, 1: 39-48.
- [5] 郭坚. 正交频分复用技术及其在 CDMA 中的应用[J]. 数字通信, 1998, 4: 38-40.
- [6] 郭凌,劭世祥. 基于 OFDM 的多载波 CDMA 技术[J]. 电力系统通信, 2005, 4: 10-12.
- [7] 张宏滔,陆信人,童峰. 一种用于水声通信网的多址接入协议[J]. 电路与系统, 2004, 3: 46-49.

# The underwater acoustic network and the multiple access technology

CHEN Wei, XU Ru, HU Xiaoyi, ZHANG Jie

(Department of Electronic Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Received: Jun. , 30, 2006

Key words: UWN (under water acoustic network); multiple access; MGC-CDMA

**Abstract:** Along with the exploitation of the ocean resources all over the world, it is necessary to cry for the research of the underwater sensor network, the underwater monitoring system and the underwater acoustic prewarning system. As a result, the study of the UWN becomes the hotspot in the world. The main difficulty of the UWN includes: the long time delay of the ocean acoustic channel, the limited usable frequency band, heavy time varying influence, power consumption limit, and network security. Aiming at the research of the multi access technology for the UWN, this article composes the system of the UWN using the OFDM and CDMA technology with the suitable transmitting method and protocol. It completes the transmission of the data depending on the MGC-CDMA technology using the matlab between the nodes in the UWN; it also shows the results of the simulation.

(本文编辑:张培新)