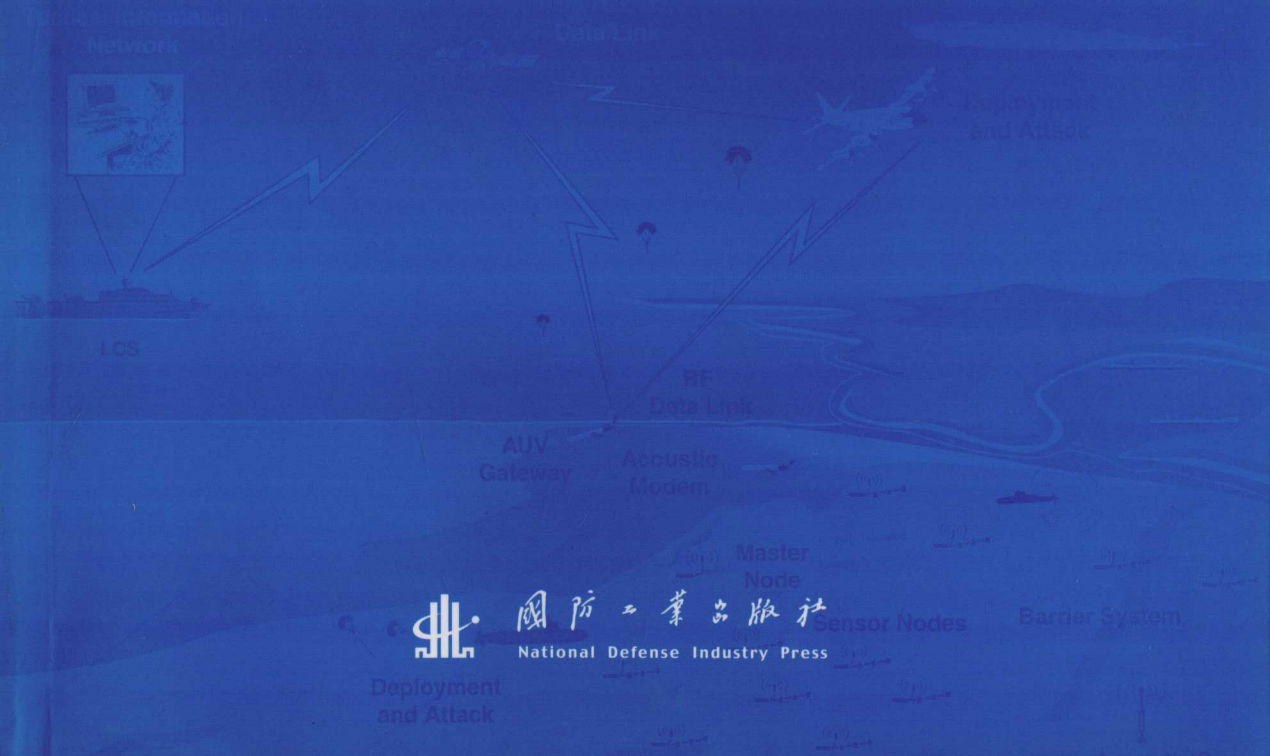


水声通信原理 及信号处理技术

殷敬伟 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

水声通信原理及 信号处理技术

殷敬伟 著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

水声通信是实现水下综合信息感知与信息交互的主要手段,可服务于海洋开发和军事应用。本书针对水声通信的一些基本原理、信号处理技术及其应用进行了介绍,力求将水声物理基础与工程技术应用有机结合。全书由8章组成,包括水声通信信道特性,Pattern 时延差编码、扩频通信、OFDM 高速通信等三种主要水声通信体制及其与各种技术的结合,时间反转镜技术、单矢量信号处理、分数阶 Fourier 变换等三项热点水声通信技术,同时书中涉及了定点通信和移动通信、单用户通信和多用户通信等内容。

本书可作为从事水声通信、水声信号处理以及从事水声工程专业的研究和教学人员及高年级本科生、研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水声通信原理及信号处理技术 / 殷敬伟著. —北京:
国防工业出版社,2011.9
ISBN 978-7-118-07670-7

I. ①水... II. ①殷... III. ①水声通信-信号处理
IV. ①TN929.3 ②TN911.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 178407 号

※

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)
北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 16¼ 字数 283 千字
2011年9月第1版第1次印刷 印数 1—3000 册 定价 35.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

在 21 世纪——海洋的世纪中,水声技术作为海洋开发的主导技术之一,将拥有更广阔的发展空间。水声通信一直是水声技术中的一个重要研究领域,它的工程应用不仅仅局限于军事,而且也在向商业领域延伸。涉及军事或商业的水下作业均要依托复杂的信息交互技术,水声通信可以为母船、水下潜器和深海固定基站等单元的协同作业提供监测、遥控和安全保障所需的信息传输服务。由移动和静止节点共同构成的水声数据通信网是当今水声通信发展的趋势,而水声通信基本原理及相关信号处理技术是实现水声通信网络化的重要基础。

水声通信作为一门综合学科,涉及通信原理、信号处理技术、现代电子技术、传感器技术等多门学科。从通信论的观点来看,海洋就是声信道,它是连接收发设备的桥梁,也是影响通信质量的主要因素。为了能有的放矢地选择适用于水声环境的通信体制和信号处理技术,必须深刻掌握声信道物理特性及其对通信系统的影响。可以毫不夸张地说,一个性能优良的水声通信系统一定是水声物理基础与工程技术应用的完美结合,缺一不可,脱离水声应用环境或者是欠考虑水声应用环境都是很难设计出实用的系统的。

本书建立在作者所在课题组多年对水声通信的科研基础上,是作者师从惠俊英教授的点滴成果的汇报。主要涉及一些关键水声通信原理和信号处理技术的理论及应用,将理论与工程应用设计、试验验证有机结合,有助于读者对相关知识的理解与掌握。全书由 8 章组成。第 1 章简要介绍水声通信原理基本知识、国内外发展现状及水声通信网络化的发展,给出了部分水声通信技术简介。第 2 章就水声通信信道展开讨论,阐述相干多途信道模型,浅海、深海信道及信道效应、选择性衰落特性,并对移动水声通信信道时变特性进行分析。第 3 章至第 5 章围绕 Pattern 时延差编码、扩频通信、OFDM 高速通信三种主要水声通信体制进行讨论,给出它们的基本原理及在水声通信中的应用设计,研究将基本通信体制与各种新技术的结合,使原有通信性能得到提高,均进行了仿真和湖试验证。第 6 章至第 8 章围绕时间反转镜技术、单矢量信号处理、分数阶傅里

叶变换三项热点水声通信技术进行深入研究,在阐述基本技术理论的基础上,结合实际而应用到不同通信系统中,提出多项具有工程应用价值的通信方案,有助于启发读者思考掌握通信体制与通信技术的有机结合,以至于掌握一个通信系统的设计过程。同时,书中多处章节涉及移动水声通信和多用户水声通信,力求为建立水声通信网做些有意义的基础工作。

本书可作为从事水声通信、水声信号处理以及从事水声工程专业的研究和教学人员及高年级本科生、研究生的参考书。

在本书撰写过程中,参考了一些优秀著作、学术论文和诸多本课题组的科研成果,均列在了参考文献中,受益匪浅,在此表示衷心感谢!同时向支持、帮助过我的哈尔滨工程大学水声工程学院的领导、老师、学长、同学和我亲爱的学生们道一声感谢!

本书的编写与出版得到了国家自然科学基金(项目编号:60802060,51179034)、博士后科学基金(项目编号:20090461313)和教育部高等学校博士点基金(项目编号:200802171061)的资助,在此特表谢意。

由于作者水平和经验有限,本书的研究无论在广度与深度上都需要进一步的完善,也难免有不妥之处。在此权作抛砖引玉,希望能够引发更多学者在水声通信领域的思索与研究,同时也敬请读者批评指正。

作者
2011年5月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 水声通信调制与编码方式概述	2
1.3 国内水声通信发展现状	4
1.4 国外水声通信发展现状	6
1.5 水声通信网	7
1.5.1 发展网络化水声通信的意义	7
1.5.2 水声通信网发展现状	9
1.6 水声通信信号处理技术简介	13
1.6.1 时间反转镜信道均衡技术	13
1.6.2 矢量水声通信技术	15
1.6.3 分数阶傅里叶变换及其应用	17
参考文献	19
第2章 水声通信信道	20
2.1 相干多途信道	20
2.2 浅海声信道	22
2.3 深海声信道	24
2.4 信道效应	27
2.5 声信道选择性衰落	29
2.5.1 时间选择性衰落	29
2.5.2 频率选择性衰落	31
2.5.3 空间选择性衰落	32
2.6 移动水声通信信道时变特性分析	33
2.7 小结	36
参考文献	37
第3章 Pattern 时延差编码水声通信	38
3.1 Pattern 时延差编码通信原理	38

3.1.1	PDS 体制编码原理	38
3.1.2	多频道 PDS 水声通信	39
3.1.3	PDS 码体制	40
3.1.4	PDS 体制译码原理	41
3.2	PDS 体制抗多途性能分析	45
3.3	Pattern 码型选取分析	46
3.3.1	Pattern 码型选取	46
3.3.2	Pattern 码型选取受限条件	47
3.4	PDS 通信系统仿真试验	48
3.5	差分 Pattern 时延差编码	50
3.5.1	差分 Pattern 时延差编码原理	50
3.5.2	系统抗多普勒性能分析	51
3.5.3	系统有效性与可靠性分析	52
3.5.4	仿真研究及湖试验证	53
3.6	小结	56
	参考文献	57
第 4 章	水声扩频通信	59
4.1	差分直接序列扩频	59
4.1.1	直接序列扩频	59
4.1.2	DS/DBPSK 调制系统	62
4.1.3	DS/DBPSK 系统性能分析	69
4.1.4	试验分析	74
4.2	M 元差分扩频水声通信	77
4.3	并行组合扩频通信系统	80
4.4	映射序列扩频通信	82
4.4.1	映射序列基本原理	82
4.4.2	映射序列扩频方式在并行组合扩频系统中的应用	85
4.5	分组 M 元扩频通信	87
4.6	循环移位扩频	90
4.7	M 元混沌扩频 Pattern 时延差编码通信	92
4.7.1	混沌扩频码的产生	92
4.7.2	分组 M 元扩频 PDS 通信	95
4.7.3	混沌扩频 Pattern 时延差编码通信试验	97
4.8	小结	100

参考文献	101
第5章 OFDM 高速水声通信技术	103
5.1 OFDM 基本理论	103
5.2 OFDM 在水声通信中的优、缺点分析	106
5.3 循环前缀	107
5.3.1 保护间隔	107
5.3.2 循环前缀性能分析	108
5.4 基于导频的 OFDM 信道估计	112
5.4.1 导频插入方式选择	113
5.4.2 导频位置信道信息获取估计	115
5.4.3 基于内插的完整信道估计	116
5.4.4 水声信道中导频插入间隔的性能分析	117
5.5 峰值平均功率比	120
5.6 多普勒效应	121
5.7 COFDM 水声通信技术	122
5.8 OFDM 认知水声通信	124
5.8.1 认知水声通信系统	124
5.8.2 基于 OFDM 技术的认知水声通信	125
5.8.3 仿真研究	128
5.9 小结	129
参考文献	129
第6章 时间反转镜技术及其在水声通信中的应用	132
6.1 声学时间反转镜试验回顾	132
6.2 时间反转镜原理	134
6.2.1 时间反转镜基阵处理原理	135
6.2.2 单阵元时间反转镜及聚焦增益分析	140
6.3 时间反转镜分类	145
6.3.1 主动式时间反转镜	145
6.3.2 被动式时间反转镜	146
6.3.3 虚拟式时间反转镜	148
6.4 各类时间反转镜性能类比分析	151
6.5 数字式 VTRM	152
6.6 时间反转镜 PDS 通信系统	154
6.6.1 时间反转镜 PDS 通信系统简介	154

6.6.2	单阵元虚拟式时间反转镜 PDS 系统	155
6.6.3	单阵元被动式时间反转镜 PDS 系统	156
6.7	ATRM-VTRM 双向水声通信系统	162
6.7.1	水声空间分集分析	163
6.7.2	上行通信	164
6.7.3	下行通信	166
6.7.4	ATRM-VTRM 水声通信方案仿真分析	166
6.8	时间反转镜多用户水声通信	168
6.8.1	多用户水声通信方案	169
6.8.2	多用户下行通信	169
6.8.3	多用户上行通信	170
6.8.4	功率控制	171
6.8.5	抗干扰分析	172
6.8.6	时间反转镜多用户通信仿真	173
6.9	时间反转镜深海远程水声通信	176
6.10	移动通信中单阵元被动式时间反转镜应用研究	179
6.10.1	原理分析	179
6.10.2	运动速度估计及测时补偿	180
6.10.3	移动水声通信试验研究	181
6.11	小结	185
	参考文献	186
第 7 章	单矢量信号处理技术在水声通信中的应用	189
7.1	单矢量信号处理的基本理论	189
7.1.1	矢量传感器测量模型	189
7.1.2	矢量传感器指向性分析	191
7.1.3	各向同性矢量干扰场	195
7.2	基于单矢量传感器的测向方法	196
7.2.1	平均声强器方位估计	197
7.2.2	直方图方位估计	200
7.2.3	LOFAR 线谱方位估计	203
7.2.4	DEMON 线谱方位估计	205
7.3	单矢量极化分集技术	224
7.4	有源平均声强器	224
7.5	单矢量水声空分多址技术	225

7.5.1	水声空分多址	225
7.5.2	基于有源平均声强器的码分多址方位估计	226
7.5.3	单矢量水声空分多址通信系统	227
7.5.4	仿真研究及湖试验证	228
7.6	小结	231
	参考文献	232
第8章	分数阶傅里叶变换移动水声通信技术	234
8.1	大多普勒频偏高速移动水声通信研究背景	234
8.2	分数阶傅里叶变换原理及性质	235
8.3	基于FRFT的水声信道参数估计	237
8.3.1	FRFT估计声信道参数原理	237
8.3.2	信道参数估计仿真研究	238
8.4	FRFT在移动水声通信同步检测中的应用	241
8.5	分数阶傅里叶变换在Pattern时延差编码体制中的应用	243
8.5.1	FRFT在PDS体制中的应用	243
8.5.2	FRFT-PDS通信仿真研究	246
8.5.3	FRFT-PDS通信湖试	248
8.6	小结	249
	参考文献	250

第1章 绪 论

1.1 引 言

水声通信(Underwater Acoustic Communication, UWA Communication)具有灵活、方便、经济、不存在电缆缠绕等特点,可实现导航、定位、信息交换、通信联络和安全保障所需的信息传输,是实现水下综合信息感知与信息交互的主要手段。在信息化海洋数据采集、海洋资源开发、海洋环境监测等关系到我国可持续发展的商业战略领域中,水声通信扮演着重要角色。在军事方面,为保证水下作战系统各单元之间信息互联互通的隐蔽性,水声通信将是一种最有前途的水下通信方式。

水声通信的历史可以追溯到1914年,在这一年水声电报系统研制成功,可以看作是水下无线通信的雏形。随着海洋开发、海洋军事的发展,水声通信在第二次世界大战后开始得到重视。世界上第一个具有实际意义的水声通信系统是美国海军水声实验室于1945年研制的水下电话,该系统使用单边带调制技术,载波频率8.33kHz,主要用于潜艇之间的通信。早期的水声通信多使用模拟频率调制技术。如WHOI在20世纪50年代末研制的调频水声通信系统,使用20kHz的载波和500Hz的带宽,实现了水底到水面船只的通信;我国的660型声纳通信采用单边带调制技术进行语音通信。模拟调制系统无法减轻由于水声信道的衰落所引起的畸变,并且系统的功率利用率低,限制了系统性能的提高。

直到20世纪70年代末、80年代初期,随着电子技术和信息科学突飞猛进的发展,水声通信技术也因此得到了迅速发展,新一代的水声通信系统开始采用数字调制技术。与模拟通信相比,数字通信具有抗干扰性强,可对时间、频率扩展进行一定程度的均衡,便于利用纠错编码技术来提高数据传输的可靠性和保密性,设备易于集成化等优点。近年来,水声通信系统均使用数字通信方式,研制出多种水声调制解调器(Modem),其调制技术也选择多样。

水声通信作为一个快速发展的科研领域,许多当前应用领域,都要求进行实时通信,这不仅是点对点的链路,更要成网络配置的形式。当今水声通信的前景就是由移动和静止节点共同构成的水声数据通信网。国外一些机构已经开始组

建水下通信网络,到目前为止,组建、研究的水声信息网近 10 个,部分已投入实际使用。但是国内在水声通信网络化方面的研究几乎是一片空白。

高速、稳健的点对点通信是实现水声通信网络化的基础。只有解决了点对点通信才可构建水下信息网,因此美国把它列为 21 世纪重大研究课题。目前,固定节点间通信技术发展迅速,已进入实用阶段,但移动水声通信尚处于研究阶段,有待于进一步提高性能。随着海洋资源开发、水下机器人及各种潜器、潜艇水下无线通信等技术的迅速发展,深、浅海中远程水声通信技术研究迫在眉睫,它必将成为制约水下信息领域发展的核心技术之一。

1.2 水声通信调制与编码方式概述

水声数字通信系统的迅速发展得益于世界发达国家加速了对各种水下无人潜水器(UUV)的开发与应用。由于模拟调制技术限制了系统性能的提高,当今水声通信系统几乎均采用数字编码技术,其主流调制方式主要是幅移键控(Amplitude Shift Keying, ASK)、频移键控(Frequency Shift Keying, FSK)和相移键控(Phase Shift Keying, PSK),以及由此派生出的各种变形方式。在水声通信中采用数字技术有两方面的重要作用:一是可以采用复杂的纠错编码技术以增加传输的可靠性;二是可以采用数字处理技术来抵消信道多途和频率扩展的影响。因此,与模拟通信相比,数字通信具有抗干扰性强、可用再生中继避免干扰累加、便于加密、便于交换和设备易于集成化等优点。

幅移键控是指用数字基带信号控制载波幅度以进行信息传递的一种调制技术。由于水声信号幅度起伏的影响而造成多级 ASK 在解调时难以设置适当的检测阈值,因而水声通信中的幅移键控大多使用通断键控(OOK)方式。该方式的功率利用率极低,抗多途干扰能力也很弱,只适用于一些通信速率要求不太高的场合。我国的 660 型通信声纳的电报工作方式就采用了通断键控方式。

频移键控系统作为一种能量检测(非相干检测)系统,对水声信道的时间和频率扩展有很强的适应能力。相当长的时间内,FSK 调制方式被认为是水声通信中的最佳调制方式。1945 年世界上第一个水声通信系统采用的便是单边带调制技术,载波频段为 8kHz ~ 11kHz,工作距离可达几千米。但从 20 世纪 70 年代后期开始出现至今,在技术上并没有太大的提高,只是随着电子技术的发展和处理器速度的提高,通信速度、实时性和灵活性等方面得到了较大的提高。频移键控调制的不足在于:需要较宽的频带宽度,频带利用率低,并要求有较高的信噪比。当存在多普勒频移时,必须设置一定的频率冗余度,这样就不能充分利用

有限的水声信道带宽。另外,频移键控调制虽然回避了载波相位恢复的问题,但并没有解决多途引起的码间干扰问题。一些系统采用在连续的码元间插入一定的时间间隔来消除码间干扰,造成通信速率的降低。

相移键控调制方式在水声通信中使用开始于 20 世纪 80 年代初,有差分相移调制(DPSK)和绝对相移调制(PSK)之分,是发展最快、成果最多的领域。相移键控具有较高的能量和频谱效率,但多途现象使其面临载波恢复的难题。在相干接收发展中具有里程碑意义的是在接收机中使用了判决反馈均衡器(Decision Feedback Equalization, DFE)和数字锁相环(Digital Phase-Locked Loop, DPLL)。然而水声信道的复杂性又使得这一体制面临着众多的理论和技术难题,深海信道的多途时延可能扩展达几百毫秒至数秒,而在浅海通常也有几十毫秒,自适应均衡技术大多仅适用于小的多途时延扩展情况而无法在深海应用。目前,相移调制通信技术在实际应用中还仅局限于深水垂直信道及近距离水平信道等多途效应影响较小和较为稳定的水声信道中。

Pattern 时延差编码(Pattern Time Delay Shift Coding, PDS)通信体制是由哈尔滨工程大学在 20 世纪 90 年代提出的,将信息编码技术和信道编码技术相结合,数字信息调制于 Pattern 码出现在码元窗的时延差信息中,属于脉位编码(Pulse Position Modulation, PPM)。脉位编码在无线遥控及超宽带通信中被广泛使用;在水声中,海洋要素(如温度、盐度、深度等)的水声遥测也常采用该方式传输信息。PDS 通信系统采用码元的多种不同波形(Pattern)来进行码元分割,其优点是所占频带较窄,且能稳健地适应水声多途信道通信。

扩展频谱(Spread Spectrum, SS)通信与光纤通信、卫星通信一同被誉为进入信息时代的三大高技术通信传输方式,其主要特征是它们的频带宽度比信息速率大得多,从而获得扩频增益以抵抗各种干扰。频谱扩展的方式主要有以下几种:直序扩频(DS)使用高码率的伪随机码采用各种调制方式在发端对要传输的低速数据进行扩频调制;跳频(FH)系统则利用伪随机码控制载波频率在一个更宽的频带内不断跳跃改变;跳时(FT)是把时间轴分成许多时隙,数据的传输时隙是伪随机的;线性调频(Chirp)系统中的频率扩展则是一个线性变化的过程;几种方式组合的混合扩频(FH/DS、DS/TH 等)系统也经常得到应用。码分多址(CDMA)技术是扩频技术在多用户通信系统中的应用,利用了扩频序列的编码正交可分性,使得多个用户信号可以在同一介质、同一频率、同一时间内传输。每一路码分信号,都是经过扩频调制的信号,每一路码分信道都分配了独特的扩频序列。近年来,扩频通信技术在水声中的应用受到较多关注。一方面扩频通信的优良性能在远程水声通信中具有重要的应用价值;另一方面当前水声通信的发展目标是建立水声通信网络,其中多用户水声通信是实现水声通信网

络的关键技术之一,由于水声信道带宽窄、传播延时大等特点,码分多址将比频分多址、时分多址等更适用于水声领域。

目前,被认为是 4G 备选方案的多载波正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)技术,是一种对抗频率选择性衰落的有效技术,也是近年来无线通信领域的研究热点,受到水声高速率数据传输的青睐。它是一种多载波高速数据调制传输方式,其基本思想是将要传输的高速数据流分配到多个正交的子载波上进行并行传输,当子载波带宽低于信道相干带宽时,呈现平坦衰落,再加以循环前缀,从而克服多途的影响,且由于其各子载波间是正交的,因此具有较高的频带利用率,十分适用于频带资源极为有限的水声通信。早在 20 世纪 90 年代中后期,S. Coatanan 等人便设计了早期的 OFDM 水下通信系统。从 2005 年开始,欧美的多个科研院所开展了大规模的 OFDM 水声通信技术研究,并取得了诸多研究成果。此外,国内的多个研究机构也都开展了基于 OFDM 的水声通信研究。但由于 OFDM 许多固有缺点使其在水声信道中的应用受限,例如,易受多普勒频偏和时变信道的影响,大的峰值平均功率比(PAPR),相位噪声及子载波间干扰等。

水声通信系统的性能通常包括信息误码率、数据传输速率和作用距离这几个指标。水声通信系统在满足一定的误码率要求条件下,作用距离与通信数据传输速率的乘积用来衡量该系统的性能。一般情况下,这个乘积数值越大,系统的通信性能越好,所以水声通信研究目标是,在满足误码率要求的前提下,使这个乘积值达到最大。在 20 世纪 80 年代早期,水声通信系统的通信距离与通信速率的乘积大约为 $0.5\text{km} \times \text{kbit}$,现在这一指标提高到浅海 $40\text{km} \times \text{kbit}$ 和深海 $100\text{km} \times \text{kbit}$ 以至于更高。这个数值的计算没有包括信道复杂度的因素,实际使用时除了依据工程要求选择通信体制之外,系统成功与否与水文条件和实际海洋环境也有很大关系。

1.3 国内水声通信发展现状

国内在水声通信领域起步较晚。自 20 世纪 80 年代中后期,第一批研究单位包括哈尔滨工程大学、中国科学院声学研究所和厦门大学,开始研究现代水声数字通信技术。90 年代末至 21 世纪初,又有中船重工 715 研究所、西北工业大学、东南大学等单位先后开展了水声通信技术的研究。

哈尔滨工程大学多年来取得了一系列成绩,提出了 Pattern 时延差编码通信体制,研究了 OFDM、MFSK、QPSK、扩频通信、自适应均衡等技术,信道仿真技术,单矢量信号处理及矢量通信技术,成功完成了多次湖上和海洋长距离数据和

图像传输。其中,2003年10月,在吉林省松花湖水域首次进行了以矢量传感器为接收器的水声通信系统的试验,通信距离达8km,验证了基于矢量传感器的处理结果明显优于声压解码结果,误码率降低一个数量级以上,达到 10^{-3} 以下;2005年11月,在青岛进行了OFDM水声通信系统的海上试验研究,试验主要验证QPSK和QDPSK调制方式下的OFDM系统性能,在12.1km作用距离内,误码率在 10^{-2} 量级;2006年8月,在松花湖进行了首次移动水声通信试验,信源母船最大航行速度为9km/h,可实现200b/s的低误码通信,同时进行了混沌扩频通信试验,验证了扩频通信的高稳健性;2010年8月,在莲花湖进行了基于单矢量传感器的多用户通信试验,提出有源平均声强器并进行了试验验证,可基于单矢量传感器同时分辨频带相同的码分多址用户方位,并可提高多址通信质量。

北京长城无线电厂和中国科学院声学研究所引进消化了白俄罗斯的扩谱通信技术,对模拟调制水声通信进行了应用研究,并以此为基础进行了通信声纳型号的研制。中国科学院声学研究所对扩频远程通信、OFDM高速通信、信息压缩及声信道自适应匹配技术进行了研究,近年来进行了多次中远程湖上、海上试验验证,其中于2003年4月在南海进行了混沌调频原理性试验,通信距离31km时通信速率为6.3b/s,误码率为 8×10^{-3} ;2005年12月,在南海进行OFDM高速水声通信系统和QAM、PSK、DPSK等多种调制方式,传送多幅图像信息,采用16QAM调制的6.6km远处接收解调后的图像,误码率为0,速率为20kb/s;2007年夏季,在青岛附近的黄海浅海海域,将相干水声通信技术和混合码激励线形预测(MELP)语音编码技术相结合设计并实现了一个实时半双工水下数字语音通信系统,在11km的距离上定点语音通信质量良好。厦门大学主要研究了浅海水声语音、图像传输技术,研制了数字式水声语音通信样机、水下图像水声传输实用样机,在厦门港海域进行了多次试验;西北工业大学主要研究了水声通信远程遥控技术,并将扩频系统结合各种新颖技术,使水声扩频系统性能得到提高,通信距离可达到几十千米,但通信速率通常较低;东南大学对水声通信网络中数据链路层MAC协议等进行了仿真研究;715研究所设计了一种基于FFH/MFSK通信方案的深海远程水下通信,并于2008在浙江千岛湖进行水平距离2km条件下试验,系统通信速率为16b/s时,误码率为 10^{-3} 。

相对于西方发达国家,目前国内水声通信技术水平相对落后,其中的一个重要原因是投入太少,无法与美国数十亿美元的投入相比。尽管如此,在点对点通信技术方面国内的跟踪面较宽,几乎研究了所有的信道编码及信道均衡技术,有关的试验研究也较深入,积累了一定的技术储备。但在水声网络通信方面,成果甚少,仅在“十一五”期间,国内由哈尔滨工程大学、715研究所和海军论证中心

首次联合开展了水声通信网的组网技术仿真和物理层节点的硬件设计研究,随后虽然许多水声研究单位也相继开展了水下信息网的研究,但至今仅有少数单位进行了小规模的网络试验。

1.4 国外水声通信发展现状

西方发达国家对水声通信领域的研究、开发非常重视,包括美国海军水下作战中心(NUWC)、美国海军研究局(ONR)、美国麻省理工学院(MIT)、Woods Hole 海洋研究所、英国海洋研究所(NIO)、伯明翰大学等多家研究单位。目前,点对点通信已经非常成熟,对水声调制解调器的开发和应用也逐步得到了重视,现重点已发展到水下组网通信。

进入 21 世纪,水声通信技术的进步更加显著,特别是随着电子技术和商用 DSP 技术的快速发展,以水声调制解调器和组网通信技术为典型的规范化产品的开发和应用正得到重视和逐步投入应用。例如,美国国际水下公司为潜水员开发的 8 通道水下无线对讲机 SSB-1001B 和 STX-101M 系统,无需手动操作,可在潜泳的同时进行语音通信,现已装备美国海军和英国皇家海军。LinkQuset 公司的 UWM 系列产品以通信速率见长,采用宽带扩谱技术,使最高声通信速率可达 38.4kb/s,误码率低于 10^{-9} ,并且超低功耗,其中 UWM7000 在通信速率 5.5kb/s 时,通信距离可达 7km。Benthos 公司于 1999 年收购了 Datasonic 公司,其研制的 ATM 系列 Modem,能够为水下节点和岸上基站之间提供可靠的无线通信。其中 ATM800 系列 Modem 采用 MFSK 和 PSK 调制方式,通信速率可达 2.4kb/s,通信距离 2km~10km,转发模式时可达 20km。ATM 系列产品是美国海军主要选用的水声 Modem,图 1.1 所示的 ATM885 就被应用于 Seaweb 试验,实现了从“海豚号”潜艇上发出 E-mail 经中继浮标站再转送到岸上(或水面舰船、卫星上)并发送到 Internet。此外,Woods Hole 海洋研究所、麻省理工学院、Dspcomm、Evologics 等也开发了各自的水声 Modem。

近年来水声通信新机理、新技术研究发展也很迅速,如正交幅度调制(QAM)、空间分集技术及与自适应技术的结合等。认知无线电技术(Cognitive Radio, CR)作为无线电通信中的一个新的里程碑,同样将为水声通信领域带来新的变革,一方面通过认知功能与周围环境交互进行频谱感知,从而实现对水声有限频谱的有效利用;另一方面,通过重配置能力可以根据通信环境动态编程调整传输工作参数,包括工作频带、传输功率以至调整通信编码体制,但这并不需要改变任何硬件组成部分。CR 可真正实现感知通信环境状态、检测用户通信需求,提供满足条件的最适当的水声通信资源与服务。

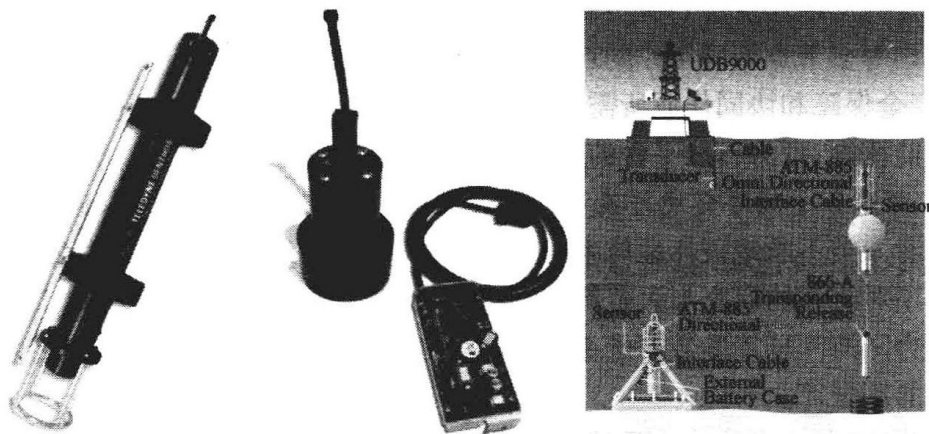


图 1.1 Benthos 公司的 ATM885 及其工作模式

1.5 水声通信网

伴随着海洋事业的发展,具有覆盖面积广、灵活实时等特点的水下声传感器网络技术,日益成为资源勘探、环境监测、领海防御等方面重点发展的一项新兴技术。水声通信网技术将成为一个信息化、现代化的海洋研究开发系统或一个信息化、现代化的非对称(无制海权、无制空权)的海战系统的核心基础性技术之一。当今水声通信的前景就是由活动和静止节点共同构成的水声数据通信网。

1.5.1 发展网络化水声通信的意义

在 21 世纪——海洋的世纪中,随着地球资源的逐步枯竭,人类正在加快对海洋的探索和开发的步伐。水声技术作为海洋开发的主导技术之一,将拥有更广阔的发展空间,而水声通信网又是水声技术中储备较少、发展历史短但非常重要的一项,水声通信网也许是唯一所剩的未经全面开垦的处女地了,其研究迫在眉睫,将成为制约水下信息领域发展的核心因素之一。

1. 可服务于海洋资源开发,实现水面与水下的信息交互

信息化海洋资源开发、能源开发是关系到我国可持续发展的百年大计,尽快开发利用深水油气资源,关系到能否有效缓解我国日益严重的石油资源紧缺的局面,关系到国家石油资源的安全和经济安全。我国南海深水海域油气资源非常丰富,据估计占全国总资源量的 1/3,有“第二个波斯湾”之称;南海在 2000m 以下蕴藏着丰富的“可燃冰”资源。