

学校编码: 10384

分类号____密级____

学号: 23320121152986

UDC_____

廈門大學

碩 士 学 位 论 文

基于啁啾载波的水声通信技术研究

Research on Underwater Acoustic Communication System
Based on Chirp Carrier

杨红星

指导教师姓名: 高春仙 助理教授

袁 飞 副教授

专 业 名 称: 通信与信息系统

论文提交日期: 2015 年 月

论文答辩时间: 2015 年 月

学位授予日期: 2015 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2015年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

浅海水声信道非常复杂，是一个时间-空间-频率迅速变化的信道，信道参数每时每刻都有很大的不同，通信条件非常恶劣。但是随着全球各国海洋资源开发的迫切需求，对水声通信系统的要求不断提高，如何实现有效和稳定可靠的信息传输是亟需解决的问题。因此构建一个稳定并且可靠的水下声通信系统对于民用领域和军用领域均具有非常重要和迫切的实际意义。

本文首先研究了基于线性调频信号扩频的直接调制技术，阐述了调制解调原理，分析理论误码性能，并在高斯白噪声和基于 Bellhop 的海洋信道模型下验证了系统性能。由于这个系统对抗多径能力不强，因此研究了抗多径技术：时间反转镜。在虚拟时间反转镜的研究中提出了两种信道估计算法，首先在 Bellhop 模型中验证了算法性能。然后依次通过水池测试实验和海测实验进一步验证系统在实际情况下的性能。结果表明，本文构建的水声通信系统在不同的水下环境中，具备了稳定可靠的性能。

本文主要工作情况概括如下：

1. 首先系统的介绍了国内外啁啾信号扩频的研究背景意义以及现状。
2. 提出了一种利用线性调频信号扩频的直接调制方式，提出了一种高可靠性的解调方式，并选择了三个不同参数的系统作为验证系统。分析了其理论误码性能，并在高斯白噪声信道和 Bellhop 海洋模拟信道下进行仿真，并验证了系统性能。
3. 研究了时间反转镜技术，理论计算了时间反转镜对信号信噪比增强的情况，在虚拟时间反转镜的研究中提出了两种信道估计算法，一是基于匹配相关的信道估计算法，二是基于正交匹配追踪的权重迭代信道估计算法，然后在 Bellhop 信道模型中研究了算法的性能，第一种算法计算量小，但有旁瓣限制，第二种计算量稍大但是估计精确，两种估计算法各有自己的优点，在实际使用时可以根据具体情况来进行选择，也可交替使用互相验证。
4. 将整个系统算法集成到 MATLAB GUI 中，分别在水池声信道和海洋声信道中测试和验证系统性能。

关键词：水声通信；直接调制；时间反转镜；信道估计

厦门大学博硕士学位论文摘要库

ABSTRACT

Shallow water acoustic channel is a very complicated time - space - frequency rapidly changing channel, the channel parameters are very different in every moment, very poor communication conditions. But with the urgent needs of development of marine resources around the world, the requirements for underwater acoustic communication system continue to increase, how to achieve efficient and reliable information transmission is a problem urgent to solve. So to build a stable and reliable underwater acoustic communication systems are very important and urgent practical significance to civilian areas and military fields.

This paper studies the direct modulation technique based on chirp spread spectrum signal at first, elaborated the principle of modulation and demodulation, analysis the theory bit error rate performance, and verify the system performance under Gaussian white noise channel and marine-based Bellhop model channel. Since the anti-multipath ability of this system is not strong, so we research of several anti-multipath techniques include time reversal mirror and equalization techniques. In the part of virtual time reversal mirror I proposed two channel estimation algorithms. From the beginning verify the performance of the algorithm in the Bellhop model, and then verify the system performance under real channel conditions through further validation of water pool experiments and sea experiments. The results showed that the underwater acoustic communication system we constructed in this paper has a stable and reliable performance under different underwater environments.

The main work of this paper is summarized as follows:

1. The background and significance and the current status of the spread spectrum based on linear frequency modulation signal were systematically introduced in this chapter.
2. Presents a direct modulation method based on chirp signal spread spectrum, presents a highly reliable demodulation method, and choose three system of different parameters as a verification system. Analysis the theory bit error rate

performance and simulated in white Gaussian noise channel and Bellhop marine analog channel, and verify the system performance.

3. To study the time-reversal mirror technology, theoretical analysis of the time-reversal mirror for enhanced signal to noise ratio. Proposed two way of channel estimation algorithms in the study of virtual time-reversal mirror, one channel estimation algorithm is based on matching and correlation, the second channel estimation algorithm is based on a weights iterative of orthogonal matching pursuit. Then study the performance of the algorithm in the Bellhop channel model. The first algorithm has a small amount of calculation, but there are side-lobe limit. The second method's calculation is slightly larger but the estimation is accurate. This two algorithms has its own benefits, you can selects the specific methods by the channel condition in actual use, and can also be used interchangeably or mutual authentication.
4. The entire system and algorithm is integrated into MATLAB GUI, then verify the performance of the system through water pool channel and ocean acoustic channel respectively.

Key Words: Underwater Acoustic Communication; Direct Modulation; Time Reversal Mirror; Channel Estimation

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	III
目 录.....	V
CONTENT.....	VII
第一章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 国内外研究现状	3
1.3 论文的主要研究内容	4
第二章 基于啁啾扩频的直接调制解调系统研究	5
2.1 啁啾扩频及其优势	5
2.1.1 扩频概述.....	5
2.1.2 啁啾扩频原理.....	6
2.1.3 啁啾扩频的优点.....	8
2.2 啁啾扩频系统	12
2.2.1 系统原理.....	13
2.2.2 误码率分析与系统仿真.....	21
2.3 本章小结	27
第三章 结合啁啾载波的时间反转镜研究	29
3.1 抗多径技术简介	29
3.2 时间反转镜基本原理及聚焦的增益分析	30
3.3 被动时间反转镜研究	32
3.4 虚拟时间反转镜研究	37
3.4.1 基于匹配相关的信道估计算法.....	38
3.4.2 基于正交匹配追踪的权重迭代信道估计算法.....	43
3.5 本章小结	49

第四章 实验结果及分析	51
4.1 水池实验及结果分析	51
4.1.1 实验环境介绍.....	51
4.1.2 实验结果分析.....	55
4.2 海测实验及结果分析	74
4.2.1 实验环境介绍.....	74
4.2.2 实验结果及分析.....	75
4.3 本章小结	81
第五章 总结与展望	83
5.1 主要工作和创新	83
5.2 下一步研究工作	83
参考文献	85
研究成果与项目参与情况	89
致 谢.....	90

CONTENT

Abstract in Chinese	I
Abstract in English	III
Contents in Chinese	V
Contents in English	VII
Chapter 1 Research Introduction	1
1.1 Research Background	1
1.2 Development Status at Home and Abroad	3
1.3 The Arrangement of This Paper	4
Chapter 2 Research on Direct Modulation and Demodulation System Based on Chirp Spread Spectrum	5
2.1 Chirp Spread Spectrum and Its Benefits	5
2.1.1 The Overview of Spread Spectrum.....	5
2.1.2 The Principle of Chirp Spread Spectrum	6
2.1.3 The benefits of the Chirp Spread Spectrum	8
2.2 Chirp Direct Modulation System	12
2.2.1 The Principle of Chirp DM-DQPSK.....	13
2.2.2 The BER Analysis of the Chirp DM-DQPSK and the Simulation of three System.....	21
2.3 Summary	27
Chapter 3 Anti-multipath Technology Research Combined With DM System	29
3.1 The Overview of Anti-multipath Technical	29
3.2 The Basic Principle of Time Reversal Mirror and its Focusing Gain Analysis	30

3.3 The Research of Passive Time Reversal Mirror	32
3.4 The Research of Virtual Time Reversal Mirror	37
3.4.1 The Channel Estimation Algorithm Based on Matching Related	38
3.4.2 The Weighted Iterative Channel Estimation Algorithm Based on Orthogonal Matching Pursuit.....	43
3.5 Summary	49
Chapter 4 Experiments of the System and Results Analysis	51
4.1 Water Pool Experiments and Results Analysis	51
4.1.1 Experimental Environment	51
4.1.2 Experimental Results and Analysis.....	55
4.2 Ocean Experiments and Results Analysis	74
4.2.1 Experimental Environment	74
4.2.2 Experimental Results and Analysis.....	75
4.3 Summary	81
Chapter 5 Summary and Future Work	83
5.1 Summary of This Paper	83
5.2 Future Work	83
Reference	85
Research Achievement And Project Attended	89
Acknowledgements	90

第一章 绪论

1.1 研究背景及意义

近十几年来,伴随着人们对海洋的探索的不断深入,对海洋资源的利用以及开发需求更加的迫切,以海水为信道介质的海洋无线通信技术正变得越来越重要,是通信技术研究的一大热点。水声通信不仅在民用的海洋通信,资源开发上有重要意义,对于国防军事也有相当重要的战略意义,美国率先将其列为二十一世纪重要科学研究课题。

最初研究者试着将陆地无线信道中的通信方法搬移到水下通信,但是有线方式的信息传递由于目标的活动范围被限制、安装和维护费用高昂而且对其他海洋活动(例如海洋航运)存在影响等等缺点,限制了它在海洋环境下的应用。另外在浑浊、含盐度高的海水中,光波(包括各种波段)、电磁波的传输衰减都非常大。这其中传输消减系数最低的蓝绿光波段,其消减系数也高达 39 分贝每公里,因此这些载体在海洋水声信道的传输距离受到严重限制,无法满足现在对这类地方的活动的现实需求。而低于 200 赫兹频率波段的声波信号在海水介质中能传输几百公里之远的距离,因此目前水下无线通信大部分都使用声波作为载体。一般步骤是将已调制好的发送信号输入换能器进行一个电声转换然后发射出去,接收端通过接收水听器进行声电转换然后进过采样处理之后解调就完成了通信过程。

不同于其他无线信道通信,声波在水声信道介质间衰减很大,具体就是与其载波频率的平方成正比,这个衰减特性导致了水下声通信的可用频段是非常窄的,分析计算认为水声传输信号的频带一般为 10-30KHz^[1-3]。并且它又是一个时-空-频变信道^[4,5],存在着严重的多径效应、深衰减、强噪声等不利因素。而且声波在水下的传播速度仅约为每秒 1500m^[6],因此诸如潮水的起伏变化,收发端的相对位移都会造成多普勒扩展^[7]。在这么苛刻的信道下,构建一个稳定,可靠且具有一定通信速率的系统是一项具有挑战而又急需解决的问题。

为了消除这些多径影响、抑制码间的干扰,学者们进行了深入分析并取得了很多成果。其间扩频技术由于具有抗多普勒频移,保密性强,在信噪比较低时性能优异等优点,成为了一个热点^[8]。扩频技术有频率跳变扩频技术(FHSS)^[9]和

直接序列扩频技术 (DSSS) [10], 其中 FHSS 相对于单频通信来说抗衰落性能有提高, 且有一定的抗多径干扰能力, 但是在传输信噪比不高的情况下性能会变差。DSSS 能用于较低信噪比情况, 但是对多普勒频移比较敏感, 且要求精确的同步和严格的相位实时跟踪技术[11,12]。

由于传统的扩频技术性能不好, 线性调频信号 (Chirp) 扩频思想逐渐引起关注[13-16]。Chirp 信号一种非平稳信号, 广泛用于语音传输、地震波探测、雷达目标检测、医学检查等领域[17], Chirp 扩频线性频率的特征使其可以利用整个频带去扩展频谱, 具有较大的时间带宽积 (BT), 所以具备一些抗多普勒频移和抗多径的能力。与传统扩频技术相较, 具有高处理增益和更强的抵抗干扰能力, 使得这种通信方式具有良好的性能, 非常适合用于复杂环境的水声通信系统中。目前大多数系统中 Chirp 信号一般被用作为信号的精细同步捕获信号。

Chirp 信号的优点不仅在于其良好的时域自相关特性, 更多的是其作为一种非平稳信号所展现出来的时频局部特征特性。分数阶 Fourier 变换 (Fractional Fourier Transform, FrFT), 作为傅立叶变换的一种广义推广形式, 是一种统一的时频变换, 它非常适合用来处理非平稳类信号, 典型的的就是 Chirp 类信号。对于某个参数的 Chirp 信号, 在其对应的最佳分数阶次 p 下的 FrFT 变换中会呈现出能量聚集的特征[18], 因此可用来进行信号的检测和判断。

近些年来, 人们引入了光学中所使用相位共轭技术, 将其演化为时间反转技术 (Time Reversal Mirror, TRM) [19-21], 具有不需要具体通信信道环境的条件下匹配信道, 从而引导待处理信号时域上的压缩和空间上的聚焦。时间压缩特性可以充分的利用原本认为是干扰而必须加以去除的多径信号的能量, 通过重组多径分量而减小码间干扰提高信噪比 (ISI), 空间聚焦则可以减小信道衰落所带来的不良影响, 并且具有较低的复杂度, 是近些年水声通信的信号处理方面出现的一项新技术[22-23]。但是 TRM 也并不能完全消除多径所带来的影响, 还需结合一些其他技术, 比如均衡来消除残余的码间干扰, 均衡又可以分时域均衡和频域均衡。

综上, Chirp 扩频虽有诸多优点, 但是受限于水声信道的恶劣环境, 以 Chirp 扩频的系统存在通信速率低、频带利用率低等缺点, 如何消除信道多径影响, 提高系统性能的同时保持较高通信速率, 从而实现浅海水声信道下高速并可靠的通信是本文的研究重点。时间反转技术使用的前提条件是需要对信道的冲激响应进

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.