

学校编码: 10384

学号: 200427039

分类号 _____ 密级 _____

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

Turbo 码在浅海水声通信中的性能仿真

**The Performance Simulation of Turbo Code in Shallow
Water Acoustic Communication**

杨文青

指导教师姓名: 许肖梅 教授

专业名称: 海洋物理

论文提交日期: 2007 年 8 月

论文答辩时间: 2007 年 8 月

学位授予日期: 2007 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2007 年 8 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，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的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

2007年8月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（ ），在 年解密后适用本授权书。

2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

海洋是 21 世纪人类社会可持续发展的宝贵财富和最后空间，水声通信与国防军事保障、海洋环境监测和科学考查、海洋渔业、海洋矿产开发等都有密切联系，具有重要的军事和民用意义。由于声波是目前水下通信最为有效的载体，因此水声通信成为目前水下无线通信最有效的技术手段。

水声信道是迄今为止最为复杂的无线通信信道之一，其固有的时-空-频变以及窄带、高噪、强多途干扰、传输时延大等信道特征，给水声通信的有效性和可靠性带来巨大的挑战。要实现有效可靠的信息传输性能，信道纠错码是一项关键技术。Turbo 码近年来成为信息论和编码界研究的热点，它巧妙地将卷积码和交织器结合起来，实现了随机编码的思想；同时，采用了软输出迭代译码来逼近最大似然译码，在低信噪比下获得了接近香农限的优异性能。将抗衰落抗干扰能力强的 Turbo 码引入条件恶劣的水声信道，对提高水声通信系统的性能是一次有益的尝试，其研究具有重要的学术意义和现实应用前景。

本文简要介绍了国内外水声通信的研究进展，分析了浅海水声信道的物理特性，阐述了 Turbo 码的基本编译码原理，推导了 MAP (Maximum A Posterior) 和 SOVA (Soft Output Viterbi Algorithm) 算法，并在 BELLHOP 射线模型的基础上建立了浅海水声信道模型，基于 MATLAB 软件环境进行了 Turbo 码在浅海水声通信系统中的性能仿真研究。论文首先比较了不同分量码、编码速率、交织长度、译码算法、迭代次数等设计参数在浅海水声信道中对 Turbo 码性能的影响，在浅海典型的等声速、正声速和负声速梯度下，分析了采用 Turbo 码的水声通信系统性能的变化，探讨了不同发射频率、声源深度、接收深度、接收距离等参数对系统性能的影响，并考虑了结合调制方式和均衡技术后，系统可能获得的性能增益。仿真结果表明，Turbo 码在浅海水声信道下具有良好的性能，基本上满足对浅海水声通信性能的要求。论文的最后给出了全文的总结与展望。

本文的创新之处在于综合考虑了多个参数对系统性能的影响，系统地实现了浅海水声信道中 Turbo 码性能的仿真，并对仿真结果进行了详细深入分析和总结，可以为 Turbo 码在浅海水声通信中的可行性及实际应用给出参考。

关键词：Turbo 码；水声信道；误比特率

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

Ocean is the valuable treasure of sustainable development of human society, and is the last living space of human beings in 21st century, and underwater communication technology has a close contract with national defence, ocean exploitation, environment monitoring, marine fish culture and so on. Because the acoustic wave is most effective for underwater communication, underwater acoustic communication becomes the most effective method in underwater wireless communication, even sometimes the only way.

Underwater acoustic (UWA) channel is one of the most complicated channels in wireless communication due to its time-space-frequency-variation and a number of negative characteristics such as the narrow frequency band, high ambient noise, multi-path distortion and transmitting delay. It brings a great challenge to the underwater acoustic communication (UAC). In this instance, we can introduce the Error Correcting Code (ECC) to improve the validity and reliability of underwater acoustic communication. Convolutional code is ingeniously combined with interleaver in Turbo code according to the idea of random coding. Meanwhile, as a result of the use of soft decision iteration decoding to approach MAP decoding, the excellent performance that close to the Shannon's limit under low SNR makes it a hot topic of the information theory and code theory. It is really a beneficial attempt to introduce Turbo code to the abominable UWA channel, with the expectation to improve the situation of UAC.

This thesis briefly introduced the development of domestic and abroad research on UAC, analyzed the physical character of UWA channel, expatiated the basic encoding and decoding theory of Turbo code, deduced the MAP and SOVA arithmetic, built a shallow water acoustic channel model based on the BELLHOP model and used MATLAB to give out a performance simulation of Turbo code working in UAC systems. In simulation part, it firstly compared the infections to the Turbo code performance in shallow water acoustic channel caused by different parameter, such as component code, encoding rate, interleaver length, decoding arithmetic, iteration

times, etc. and secondly compared the performances of Turbo code in UAC system working in three different sound velocity gradients in shallow water: constant, positive and negative. Then it analyzed different impacts on system performance that caused by different parameter, such as carrier wave frequency, sound source depth, receiver depth, receiving distance, etc. working in these three gradients. Modulation and equalization were also introduced in to consider the performance gain that the UAC system may be obtained. The result of simulation shows good performance of Turbo code in underwater acoustic channel, which can meet with the need of shallow water acoustic communication. Summary and prospect were provided at the end of this thesis.

The innovation of this thesis lies in its systematically realized simulation of performance that Turbo code working in UWA channel, and the consideration of impacts on system performance caused by different parameters. Then it gave out a detailed analysis and summarize to the simulation result. So it can be consulted for the possibility and practical application of Turbo code working in UAC systems.

Key words: Turbo code, under water acoustic (UWA) channel, bit error rate.

目 录

| | |
|---------------------------------|----|
| 摘要 | 1 |
| Abstract | II |
| 目录 | IV |
| Catalog | VI |
| 第一章 绪论 | 1 |
| 1.1 研究背景及意义 | 1 |
| 1.2 水声通信技术研究进展 | 2 |
| 1.2.1 国内水声通信研究进展 | 3 |
| 1.2.2 国外水声通信研究进展 | 7 |
| 1.3 论文主要内容 | 11 |
| 第二章 浅海水声信道物理特性 | 12 |
| 2.1 海水中的声速 | 12 |
| 2.1.1 深海声速分布 | 13 |
| 2.1.2 浅海声速分布 | 14 |
| 2.2 浅海中的环境噪声 | 14 |
| 2.3 浅海中的声传播衰减 | 16 |
| 2.4 浅海水声信道的多途和起伏效应 | 17 |
| 2.4.1 多途效应 | 17 |
| 2.4.2 声传播起伏 | 19 |
| 2.5 水声信道主要特性 | 20 |
| 2.5.1 水声信道的复杂性 | 20 |
| 2.5.2 水声信道的多变性 | 20 |
| 第三章 Turbo 码技术简介 | 22 |
| 3.1 现代通信系统中的编码技术 | 22 |
| 3.1.1 分组码 | 23 |
| 3.1.2 卷积码 | 23 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1.3 级联码..... | 24 |
| 3.1.4 Turbo 码..... | 24 |
| 3.2 Turbo 码研究及应用现状..... | 25 |
| 3.2.1 Turbo 码的理论研究..... | 25 |
| 3.2.2 Turbo 码原理的应用..... | 25 |
| 3.3 Turbo 码中的关键技术..... | 27 |
| 3.3.1 Turbo 码的编码器..... | 27 |
| 3.3.2 Turbo 码的交织器..... | 29 |
| 3.3.3 Turbo 码的译码器..... | 29 |
| 第四章 水声信道下 Turbo 码的性能仿真..... | 31 |
| 4.1 仿真环境及实现..... | 31 |
| 4.2 浅海水声信道建模及仿真..... | 32 |
| 4.2.1 BELLHOP 射线模型..... | 32 |
| 4.2.2 水声信道模型..... | 34 |
| 4.3 浅海水声信道下 Turbo 码设计参数对系统性能的影响..... | 35 |
| 4.3.1 Turbo 码参数设置..... | 37 |
| 4.3.2 仿真结果及分析..... | 45 |
| 4.4 不同水声信道条件下 Turbo 码的性能..... | 53 |
| 4.4.1 不同声速梯度下的系统性能..... | 53 |
| 4.4.2 不同发射频率下的系统性能..... | 55 |
| 4.4.3 不同发射和接收深度下的系统性能..... | 57 |
| 4.4.4 不同接收距离下的系统性能..... | 62 |
| 4.5 采用调制技术后的性能..... | 64 |
| 4.6 采用均衡技术后的性能..... | 66 |
| 第五章 总结与展望..... | 68 |
| 附录..... | 70 |
| 参考文献..... | 76 |
| 致谢..... | 80 |

Catalog

| | |
|---|----|
| Abstract | 1 |
| Catalog | IV |
| Chapter One Introduction | 1 |
| 1.1 Research Background | 1 |
| 1.2 Research Progress | 2 |
| 1.2.1 Research Progress at Home | 3 |
| 1.2.2 Research Progress Abroad | 7 |
| 1.3 Main Research Contents | 11 |
| Chapter Two Characteristics of Shallow-sea Acoustic Channel .. | 12 |
| 2.1 Sound Speed in the Ocean | 12 |
| 2.1.1 Sound Speed in Deep Sea | 13 |
| 2.1.2 Sound Speed in Shallow Sea | 14 |
| 2.2 Ambient Noise in Shallow Sea | 14 |
| 2.3 Transmission Loss in the Sea | 16 |
| 2.4 Multipath Effects and Fluctuation Effects | 17 |
| 2.4.1 Multipath Effects | 17 |
| 2.4.2 Fluctuation Effects | 19 |
| 2.5 Main Characteristics of Shallow Sea Acoustic Channel | 20 |
| 2.5.1 Complexity | 20 |
| 2.5.2 Variety | 20 |
| Chapter Three Introduction of Turbo Code | 22 |
| 3.1 Channel Coding in Present Communication System | 22 |
| 3.1.1 Block Code | 23 |
| 3.1.2 Convolutional Code | 23 |
| 3.1.3 Concatenated Code | 24 |
| 3.1.4 Turbo Code | 24 |
| 3.2 Research and Application Status of Turbo Code | 25 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.1 Theoretical Research | 25 |
| 3.2.2 Application | 25 |
| 3.3 Key Techniques of Turbo Code | 27 |
| 3.3.1 Encoder | 27 |
| 3.3.2 Interleaver | 29 |
| 3.3.3 Decoder | 29 |
| Chapter Four Performances Simulation of Turbo Code | 31 |
| 4.1 Simulation Environment and Implementation | 31 |
| 4.2 Model and Simulation of Shallow Sea Acoustic Channel | 32 |
| 4.2.1 BELLHOP Model | 32 |
| 4.2.2 Channel Model | 34 |
| 4.3 Influences of Design Parameters of Turbo Code | 35 |
| 4.3.1 Parameters Setting | 37 |
| 4.3.2 Simulation Results and Analysis | 45 |
| 4.4 Performances in Different Channels | 53 |
| 4.4.1 Different Sound Speed Profiles | 53 |
| 4.4.2 Different Carrier Frequences | 55 |
| 4.4.3 Different Depth of Transmitter and Reciever | 57 |
| 4.4.4 Different Range | 62 |
| 4.5 Using Modulation | 64 |
| 4.6 Using Equalization | 66 |
| Chapter Five Conclusion | 68 |
| Appendix | 70 |
| References | 76 |
| Acknowledgement | 80 |

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

海洋丰富的资源为人类的生存和发展提供了广阔的前景,是 21 世纪人类社会可持续发展的宝贵财富和最后空间。海洋开发和海洋国防中的每一项工程活动,几乎都与水声通信技术有着密切的联系,研究和发​​展水声通信技术具有重要意义。要实现有效可靠的水声信息传输,信道纠错码是一项关键技术。

1.1 研究背景及意义

当今世界进入了一个信息高速发展的时代,通信是这个进程中发展最快,进步最为迅速的技术之一。陆地和空中通信已经日臻完善,而海洋中的通信才刚刚崭露头角。由于电磁波和光波在水中的严重衰减,声波成为水下无线通信的唯一有效手段。

水声通信最初主要应用于军事领域,如大型武器实验场数据采集、潜艇与潜艇、潜艇与水面舰艇、潜艇与岸上指挥基地之间的信息传输等。二战以后,随着人类对海洋资源的不断开发和利用,水声技术开始广泛应用于民用,主要包括:海洋地质地貌勘察、船舶导航、鱼群探测、海洋环境监测、海洋灾害预报、海上矿产勘探和开采等。这些应用也促进了水下通信技术的发展。

近年来,水声通信成为各国科学工程人员研究的热点。研究水声通信技术,对于国民经济的发展和国防军事保障都具有极其重要的意义。海洋声学技术尤其是水声通信技术是发达国家对我国实行技术封锁的领域,因此研发具有自主知识产权的水声通信技术意义深远。

然而水声信道条件复杂,存在窄带、高噪、强多途干扰等众多因素制约,是当今无线通信中难度最大的信道,实现高效可靠的信息传输非常困难。早期的水声通信普遍采用扩频通信技术,其优点是抗干扰能力强,传播距离远,但是由于频带限制,无法达到高速率通信。后来人们逐渐开始将频带利用率高的相位连续的调制技术应用于水声通信中,并通过纠错编码技术来降低系统的误码率。Turbo 码实现了随机编码的思想,并采用了软输出迭代译码,在低信噪比下获得了接近香农限的优异性能,成为信息论和编码界研究的重点。将性能

优秀的 Turbo 码引入浅海水声通信, 已成为提高通信系统性能的有效手段之一。

近年来, 随着系统科学研究的深入和控制理论、计算技术、计算机科学与技术的发展, 计算机仿真技术已发展成一门新的学科。由于在海上进行水声通信实验费用昂贵, 实施周期长, 不可能频繁实施, 近年来仿真技术越来越显示了其优越性。信息处理技术的突飞猛进, 更使得仿真技术得到迅速发展。系统仿真实施简单, 费用低廉, 通常只需一台电脑和一些专业软件就可实现, 且具有很高的灵活性, 可以任意调整模型参数, 研究者能够根据各种仿真结果, 进一步完善研究方案。借助于先进的计算机系统, 人们在较短时间内就能知道仿真运算的结果, 从而为实践活动提供强有力的指导, 这是通常的数学模型方法所无法实现的。对浅海水声通信系统进行仿真, 可以对多种通信情况进行模拟, 全面考虑各个参数对系统的影响, 为实际工程应用提供参考, 成本低廉, 灵活度很高。

本文在此背景下选题并开展研究, 通过对采用 Turbo 码的水声通信系统进行仿真, 为 Turbo 码在水声信道下的应用提供技术参考。

1.2 水声通信技术研究进展

水声通信技术自上世纪中叶诞生, 经历了从模拟通信到数字通信的过程。尤其是高速水声通信, 近十几年由非相干通信向相干通信发展。当今硬件的不断发展, 特别是信号处理芯片计算能力的不断提高, 为水声通信使用各种新的复杂技术(比如空间调制技术、自适应均衡技术、盲均衡技术、分集接收技术等)提供了支持, 从而使得水声通信系统的性能有了更大的提高空间。

水声通信系统的性能通常用误码率和数据率两个指标来衡量, 这两个指标是一对矛盾。保证水声通信的质量, 就是在保持高数据率的前提下, 尽量降低传输的误码率。水声通信系统在满足一定的误码率要求条件下, 用作用距离与通信速率的乘积来衡量该系统的性能, 一般情况下, 这个乘积值越大, 系统的通信性能越好。水声通信研究目的就是使水声通信系统误码率更低, 使这个乘积值达到最大。例如, 1999 年国际上发表的各种水声通信机的指标一般以传输速率 \times 作用距离= 40kbps \cdot km 为上限, 如图 1.1 所示^[1]。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts 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.

厦门大学博硕士论文摘要库