

硕士学位论文

基于水下图像传输的联合信源信道编码研究

Research on Joint Source-Channel Coding in Underwater Acoustic Image Transmission

朱锦华

指导教师：许茹教授

厦门大学电子工程系

2006年5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

兹提交的学位论文，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而产生的权利和责任。

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

摘 要

水声信道是一个极其复杂的时间-空间-频率变参随机信道，存在着窄带、高噪、强多途干扰、载波频率低、传输时延大、传输衰耗大等众多因素的制约，在这样的信道中实现具有高数据量的图像信息的实时有效传输，必然要求进行信源压缩编码和信道的纠错控制。而近年来随着多媒体无线通信重要性的日益显现，信源、信道联合编码正越来越受到通信界的广泛重视。在严重噪声的衰落信道(移动通信信道、水声信道等)中，采用联合编码技术比采用分离编码技术更能获得令人满意的效果。

因此本文针对在水声通信系统中传输图像的目标，提出了基于 SPECK 信源编码与 Turbo-codes 信道编码的联合编码方案。并进一步结合 OFDM 技术，初步实现了水下图像的传输。

本文提出的联合编码方案利用信道编码中的 Turbo-codes 适于不同码率的特性，对于渐进压缩图像数据，根据其对重建图像的重要程度进行不同等纠错保护。这种基于信源的信道编码方案充分利用了信源编码后的数据流按重要性排序的特性，并改善了其对比特差错非常敏感的不足。实验结果表明，本文的方法在高噪声信道中可以达到较好的抗噪性能，保证了重建图像的质量。

本文的创新之处在于将联合信源信道编码 (Joint Source Channel Coding—JSCC) 技术引入水声通信系统中，并且将联合编码方案与 OFDM 技术相结合，对确保水下图像的高质量传输进行了积极的尝试。

关键词：图像传输；水声；联合信源信道编码

Abstract

Underwater acoustic(UWA) channel is a complex time-,space- and frequency-variant channel, which is restricted by numbers of negative factors, e.g. narrow band, high ambient noise, multipath distortion and deep fading. So to realize the high efficiency and real-time transmission of image with great data quantity, it will refer to both source coding and channel coding. Recently, along with the development of multimedia wireless communication, the Joint Source and Channel Coding receives more and more attention and becomes the important subject in the coding theory research. In the fading channel with high noise, e.g. mobile communication channel and UWA channel, JSCC gets better performance than separated coding.

To aim at the image transmission in UWA communication system, this paper presents joint source and channel coding approach which takes advantage of the superior performance of Turbo-codes and the property of SPECK. In addition, combined with OFDM technology, the image transmission system in UWA channel is set up.

This paper proposes unequal error protect for the progressive compressed image data according to error sensitiveness. This channel coding based on source utilizes the property of compressed data which generated in order of importance, and improves the limitation to error sensitivity. Studies also show that the method can get better balance between bit error rate and code length, and the image can get better anti-noise property.

The innovation of this paper is putting forth the technology of joint source and channel coding in image transmission in the underwater acoustic channel. And it is an active attempt that the joint source and channel coding combines with OFDM technology to insure image transmission with high quality in underwater acoustic channel.

Keywords: image transmission; underwater acoustic; joint source-channel coding

目 录

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 摘 要 | I |
| Abstract | III |
| 目 录 | IV |
| 第一章 绪 论 | 1 |
| 1.1 选题背景 | 1 |
| 1.2 联合信源信道编码 (JSCC) 研究的意义 | 2 |
| 1.2.1 信源编码和信道编码在图像传输中的必要性 | 2 |
| 1.2.2 信源与信道联合编码的作用 | 3 |
| 1.3 论文内容安排 | 4 |
| 第二章 图像信号的信源压缩编码 | 6 |
| 2.1 图像信源编码概述 | 6 |
| 2.2 图像信源压缩编码的基础 | 7 |
| 2.3 小波变换编码 | 8 |
| 2.3 小波变换 | 9 |
| 2.3.1 小波变换的基本原理 | 9 |
| 2.3.2 图像的小波变换 | 9 |
| 2.3.3 提升算法 (Lifting scheme) | 11 |
| 2.3.4 整数小波变换 | 14 |
| 2.4 集合分裂嵌入块编码 SPECK | 15 |
| 2.4.1 SPECK 编码特点 | 15 |
| 2.4.2 SPECK 编码算法 | 16 |
| 第三章 信道编码中的 TURBO 码 | 18 |
| 3.1 概述 | 18 |
| 3.2 TURBO 码的编码原理 | 18 |
| 3.3 TURBO 码的译码原理 | 20 |

| | |
|--|----|
| 3.4 SOVA (SOFT-OUTPUT VITERBI ALGORITHM) 译码算法..... | 22 |
| 第四章 信源信道联合编码 | 25 |
| 4.1 联合编码的提出 | 25 |
| 4.2 联合编码的研究现状..... | 26 |
| 4.2.1 基本理论的研究..... | 26 |
| 4.2.2 具体设计方法的研究..... | 27 |
| 4.3 几种信源信道联合编码技术 | 28 |
| 第五章 基于 SPECK 压缩编码和 TURBO 码的联合编码..... | 30 |
| 5.1 图像数据不同位置误码的影响 | 30 |
| 5.2 模拟信道..... | 31 |
| 5.3 图像质量的测度标准..... | 31 |
| 5.4 联合编码的实现 | 32 |
| 5.5 联合编码仿真结果及分析..... | 34 |
| 5.5.1 BSC 模拟信道..... | 34 |
| 5.5.2 高斯白噪声信道..... | 36 |
| 5.6 小结 | 38 |
| 第六章 联合编码结合 OFDM 技术在水声信道中的实验..... | 40 |
| 6.1 浅海水声信道特性..... | 40 |
| 6.2 OFDM 技术..... | 41 |
| 6.2.1 OFDM 的基本原理及其优缺点..... | 41 |
| 6.2.2 应用于水声通信系统中的 OFDM 技术..... | 43 |
| 6.3 联合编码结合 OFDM 技术的具体实现..... | 44 |
| 6.4 实验结果及分析 | 49 |
| 6.5 小结 | 54 |
| 第七章 总结与展望 | 55 |
| 参考文献 | 56 |
| 致 谢..... | 58 |

INDEX

| | |
|---|------------|
| Chinese Abstract | I |
| Abstract | III |
| Index | IV |
| Chapter 1 Preface | 1 |
| 1.1 Research Background..... | 1 |
| 1.2 Meaning of Research on Joint Source and Channel Coding | 2 |
| 1.2.1 Necessity of Source coding and Channel coding | 2 |
| 1.2.2 Effect of JSCC | 3 |
| 1.3 Arrangement of the Thesis..... | 4 |
| Chapter 2 Image Source Coding..... | 6 |
| 2.1 Summary | 6 |
| 2.2 Basic Principle of image source coding..... | 7 |
| 2.3 Image coding base on wavelet transform | 8 |
| 2.3 Wavelet Transform | 9 |
| 2.3.1 Principle of wavelet transform..... | 9 |
| 2.3.2 Wavelet transform in image | 9 |
| 2.3.3 Lifting scheme | 11 |
| 2.3.4 Integer-to-integer Wavelet Transform..... | 14 |
| 2.4 SPECK Algorithm..... | 15 |
| 2.4.1 Characteristic of SPECK..... | 15 |
| 2.4.2 SPECK Algorithm Step..... | 16 |
| Chapter 3 TURBO Codes..... | 18 |
| 3.1 Summary | 18 |
| 3.2 Encoding Principle of Turbo codes | 18 |
| 3.3 Decoding Principle of Turbo codes..... | 20 |
| 3.4 SOVA (Soft-Output Viterbi Algorithm) | 22 |
| Chapter 4 JSCC | 25 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1 Bring forward of JSCC | 25 |
| 4.2 Research on JSCC | 26 |
| 4.2.1 Research on Basic Principle..... | 26 |
| 4.2.2 Research on Design means | 27 |
| 4.3 JSCC Technology | 28 |
| | |
| Chapter 5 JSCC Base on SPECK Source coding and TURBO | |
| Channel coding..... | 30 |
| | |
| 5.1 Error Sensitiveness of image data..... | 30 |
| 5.2 Simulation Channel..... | 31 |
| 5.3 Evaluation of image coding quality | 31 |
| 5.4 Implement of JSCC | 32 |
| 5.5 JSCC Simulation | 34 |
| 5.5.1 BSC Channel..... | 34 |
| 5.5.2 Gauss White Noise Channel | 36 |
| 5.6 Summary..... | 38 |
| | |
| Chapter 6 JSCC Combined with OFDM for Experiment in | |
| Underwater Acoustic(UWA) Channel..... | 40 |
| | |
| 6.1 Characteristic of Shallow UWA Channel..... | 40 |
| 6.2 OFDM technology | 41 |
| 6.2.1 Basic Principle of OFDM | 41 |
| 6.2.2 OFDM Technology used in UWA Communication | 43 |
| 6.3 Implement of JSCC combined with OFDM | 44 |
| 6.4 Experiment Results and Analysis..... | 49 |
| 6.5 Summary..... | 54 |
| | |
| Chapter 7 Summary and Improvement..... | 55 |
| | |
| References | 56 |
| | |
| Acknowledgement | 58 |

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

1.1 选题背景

近年来通信领域得到了飞速发展。陆地和空中通信领域包括的两个最积极、最活跃和发展最快的分支——Internet 网和移动通信网日臻完善，而海中通信的研究也随着人类在海洋中活动的增加正在如火如荼的展开。

在陆地和空中常用的以光和电磁波为载体的通信方式在海洋中全然没有用武之地。这是因为在混浊、含盐的海水中，光波、电磁波的传播衰减都非常大，因而它们在海水中的传播距离十分有限。而有缆方式的信息传输由于自身存在的缺陷（目标活动范围受限制、通信缆道的安装以及可能存在的对其他海洋活动的影响），极大地限制了它在海洋环境中的应用。

声信号可以在水中传播几十甚至几百公里的距离。因此，采用声波作为信息在水声信道中传送的载体是当前唯一可选的实现水下无线通信的有效手段，这就是所谓的水声通信。

然而，水声信道是一个极其复杂的时间—空间—频率变参随机多径传输的信道，它存在着环境噪声高，带宽窄，可使用载波频率低，传输时延大等诸多不利因素，是至今为止难度最大的无线通信信道之一。要实现误码率低，数据率高的水声通信是非常困难的。这也使得水下无线通信技术成为当今最具挑战性的通信技术之一。

水声信道多媒体信息传输包括了语音、图像以及数据传输。其中图像包含着极大的数据量，在频带资源有限，声波传输速率低的水声信道中，要完成足够信息量的传输并保证一定的实时性，对大信息量的图像进行压缩编码，降低传输的数据量是必需的；与此同时，克服恶劣的水声信道环境，保证传输质量，追求尽可能低的误码率的信道差错控制方法也必需考虑。

随着多媒体无线通信重要性的日益显现，信源、信道联合编码近几年来正越来越受到通信界的广泛重视。

如上所述，由于面临噪声信道和频带窄等因素影响，要求进行数据压缩即信源编码和差错控制即信道编码。在过去，信源编码器和信道编码器都是分开设计

的,这种思想通常很实用并且在理论上得到香农编码定理的支持。然而,该定理假设信源编码是最优的,可以去掉所有冗余,并且假设当比特率低于信道容量时可纠正所有误码,在不限制码长、复杂性和时延的前提下,可以得到这样的系统。但是,在实际的系统中必须限制码长、复杂性和时延,这和香农编码定理的假设是相矛盾的,这将必然导致系统性能的下降。在许多情况下,例如在严重噪声的衰落信道(移动通信信道、水声信道等)中,采用独立编码技术并不能获得满意的效果。

由于实际的信源编码输出仍包含有大量冗余。特别是对于有记忆信源例如语音和图像信息,在这种情况下采用信源、信道编码的联合设计进一步提高通信系统的传输效率、降低误码率是可能的。

本论文针对水下图像传输的研究目标,提出了基于整数小波变换的 SPECK 的图像压缩算法及 Turbo 码的差错控制编码的联合信源信道编码方案。

1.2 联合信源信道编码 (JSCC) 研究的意义

1.2.1 信源编码和信道编码在图像传输中的必要性

数字图像的大数据量与信道容量有限的矛盾提出了数据压缩的必要性,而图像信源中的冗余和人眼视觉特性以及对图像的某些特殊要求为图像数据的压缩提供了可能性。在同等的通信容量下,如果图像信号数据可以压缩后再传输,这就可以使传输的数据量变小,从而提高通信的有效性。因此图像信号在传输前需要进行数据压缩,即所谓的信源编码。

由于图像在相邻像素间、在相邻扫描行间、在活动图像的相邻帧间,都存在着较强的相关性,因而,可依据信息论中的信源编码原理,去除这些相关性引起的冗余度。另一方面,图像最终是由人们通过视觉来感觉的,可充分利用人的视觉特性来实现图像压缩。本文中所采用的小波变换及 SPECK 压缩编码算法就充分利用视觉对不同频率信号的感知灵敏度不同的特性,达到数据压缩的目的。

图像信号无论是通过有线信道,如电线、光纤等,还是诸如自由空间的无线信道传输,都不可避免地会受到通信系统内外各种噪声的干扰,其必定影响信号的传输质量,使得接收到的数据出现差错。为了在已知信噪比的情况下达到一定

的误比特率指标，首先应合理设计基带信号，选择调制、解调方式，采用频域均衡或时域均衡，使误比特率尽可能降低。但若误比特率仍不能满足要求，则必须采用信道编码，即差错控制编码。信道编码的任务就是提高数字信号的传输可靠性。

噪声是信息信号在传输过程中所受到的各种各样干扰信号的总称，它直接影响着信息信号的传输质量，甚至会淹没信息信号，因此在恶劣的水声信道中传输图像信息，有必要对其进行信道编码。有效的信道编码能够大大提高图像的抗噪性能，使接收端得到视觉上满意的图像。

1.2.2 信源与信道联合编码的作用

长期以来，信道编码的纠错特性通常都不考虑任何信源数据的特性，原因之一是 Shannon 在其信息编码理论中论证了信源编码与信道编码能够独立完成；而对于图像来说，另一个主要原因是由于以往的许多图像压缩方法是对图像进行分块压缩，从而图像压缩数据流是一串概率统计独立且同等重要性的比特流，其对差错的敏感程度也是等概率的，因此在对其进行信道编码时只能对其作统一的纠错编码处理，而无法依据图像本身的特性有针对性地进行的一些纠错。

随着小波变换的发展和零树编码的提出，为有针对性的纠错编码提供了可行性。小波变换是近年来才发展起来的一种新的信号分析方法，基于应用数学理论的最新进展。它具有频率上的自由伸缩性，不受图像带宽的约束，同时克服了 DCT 变换的块效应。作为一种多分辨率分析方法，小波变换具有很好的时-频或空-频局部特性，特别适合按照人类视觉系统特性设计图像压缩编码方案，也非常有利于图像的分层传输^[1]。

SPECK 算法是分层编码方式中的一种，它利用小波变换将图像的低频信息集中在左上角，并通过对重要信息进行优先编码，使得对图像重建作用较大的信息数据集中在码流的前面，然而这些重要比特对差错也相对较敏感，往往错一个比特都可能使重建图像无法辨认。因此针对差错敏感程度不同的信息，采用不同的信道编码方案能够帮助改善整个系统的差错控制，同时也能够达到误码率与码长一个较好的平衡。

信道编码的作用在于保护信源编码后的信号和图像数据，通过适当的增加冗

余码, 增加信号和图像数据在信道传输中的抗噪性能及其它不稳定因素, 在接收端先经过译码纠错后再传给信源译码器重建图像。虽然信源与信道的编码思想与功能有严格的区别, 但是它们有一个共同的目标, 就是使得图像更快的传输, 使重建图像的质量尽可能接近原始图像。因此如果将两者进行联合编码, 能够更好地达到其共同目标。图像的信源编码是为了压缩数据, 减少数据冗余量, 使得图像能更快的传输到目的地, 而信道编码要适当增加冗余量, 提高纠错性能, 保证重建图像质量。信源与信道联合编码的优越性在于使得信道编码只增加少量纠错码, 就可以达到较好的纠错性能, 由此可以提高传输效率。SPECK 编码由于将压缩数据按对重建图像的重要程度不同而进行编码, 其结果是重要信息位于数据流前端, 这使得在信道编码时可以根据其重要性不同而分别编码, 对重要性程度高的采用较多的冗余码, 重要性程度低的采用较少的纠错, 即采用不等差错保护 (UEP), 来达到码长与重建质量的平衡。

本文提出利用 Turbo 码适于不同码率的特性, 对于采用基于小波变换的 SPECK 算法的压缩图像数据, 根据其对重建图像的重要程度进行不同等纠错保护。这种基于信源优化信道编码方案充分利用了信源编码后的数据流按重要性排序的特性, 并改善了 SPECK 算法对比特差错非常敏感的不足。

1.3 论文内容安排

本论文主要研究如何在水声通信系统中更好的传输图像, 提出了联合信源信道编码方案。内容安排如下:

第一章介绍了选题背景, 提出了信源信道联合编码方案; 并论述了基于图像传输的信源信道联合编码的研究意义。

第二章是本论文的理论基础之一, 介绍了图像信号的信源压缩编码, 重点阐述了基于提升算法的 SPECK 图像压缩算法。

第三章是本论文的理论基础之二, 介绍了信道编码中的 Turbo 码。

第四章介绍了信源信道联合编码的思想及目前常用的几种联合编码技术。

第五章主要介绍了本论文提出的基于 SPECK 和 TURBO 码的信源信道联合编码方案及其具体实现, 给出了 MATLAB 仿真结果。

第六章在水声课题组前人科研的基础上针对水声信道特性, 提出了将本论文

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