

学校编码: 10384

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

学号: 23320081153277

UDC \_\_\_\_\_

廈門大學

碩 士 學 位 論 文

基于 MELP 的水声语音传输  
及语音隐蔽通信的研究和实现

Research and Implementation of Underwater Acoustic  
Speech Transmission and Speech Concealed  
Communication Based on MELP

杜利刚

指导教师姓名: 许 茹 教授

专业名称: 通信与信息系统

论文提交日期: 2011 年 05 月

论文答辩时间: 2011 年 月

学位授予日期: 2011 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2011 年 05 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

## 摘要

本文在对美国联邦语音编码标准——2.4Kbps 混合激励线性预测 (Mixed Excitation Linear Prediction, MELP) 算法进行详细研究的基础上, 提出了一种甚低速率的改进型 800bpsMELP 语音压缩编解码算法, 该算法具有三帧联合量化、三帧参数根据清音/浊音的不同组合进行分类量化、以及对语音信号参数进行矢量量化等诸多特点。

与此同时, 本文研究了基于变换域的信息隐藏算法, 采用提升小波变换的方法和本文提出的 800bpsMELP 语音压缩编码算法, 完成了“基于提升小波变换的语音隐藏”算法设计, 该算法嵌入容量大, 适合在可用频带窄的水声信道中应用。

理论仿真及实际水声信道实验证明: ①经本文 MELP 算法处理的语音信号, 当通信系统面对恶劣的水声信道环境, 进行多重抗干扰、抗误码保护时, 若系统有效通信速率不低于 800bps, 则能进行语音信号的水声实时、有效传输。②本文完成的语音隐蔽通信算法能够实现秘密语音在公开语音载体的自适应嵌入和盲提取, 且嵌入容量大、具有较好的透明性和鲁棒性。

论文主要工作如下:

- 1、基于美国联邦语音编码标准——2.4KbpsMELP 算法, 对语音信号进行压缩编码及解码的研究, 提出了一种 800bpsMELP 语音压缩编解码算法;
- 2、采用提升小波变换, 结合本文提出的语音压缩算法, 研究并实现了一种自适应语音隐藏及盲提取的算法;
- 3、以 Linux 操作系统和 ARM 为平台, 完成了 QT 嵌入式图形用户界面的设计、语音压缩编解码算法及语音隐藏算法向 ARM 中的移植;
- 4、结合实验室原有 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)、基于 LDPC(Low Density Parity Check Code)技术的 OFDM 两类水声通信系统样机, 完成了“基于 MELP 的水声语音传输及语音隐蔽通信”两个系统在 ARM 中的软件设计工作, 实现了两个通信系统的脱机运行。进行了实验室水池、厦门港浅海域海洋声信道的水声语音传输和语音隐蔽通信系统仿真、实验室水池实验。

**关键词:** 语音编码; 提升小波; 语音隐藏;

## Abstract

Through the detailed research on the U. S. Federal Standard - Mixed Excitation Linear Prediction (MELP) speech coding algorithm at 2.4Kbps, this thesis presents an improved 800bps MELP algorithm at extremely low rate. In the proposed algorithm, three consecutive frames are jointly quantized, three frames parameters are distinctly quantized according to the different unvoiced/voiced(U/V) frame combinations, and the vector quantization scheme is used to quantize these parameters.

Meanwhile, according to the study of information hiding schemes in transform domain, and adopts lifting wavelet transform method and the proposed 800bps MELP speech coding algorithm, this thesis designs a speech hiding algorithm based on lifting wavelet transform. This algorithm has the characteristics of large capacity, is quite fit for narrow-band underwater acoustic channel.

The simulation and experiment results show that: (1)The speech signal processed by the proposed MELP algorithm in this paper can transmit effectively in real time based on the multiple anti-interference and error-correcting protection in severe acoustic channel environment, when the effective transmission rate is not less than 800bps. (2)The speech hiding algorithm completed in this thesis can achieve concealed speech adaptive embedding and blind extracting in a public speech with large embedded capacity, good robustness and transparency.

In this thesis, we introduce the details of this system as follows:

1. An improved 800bps MELP algorithm is proposed based on the U. S. Federal Standard-2.4 Kbps MELP algorithm.
2. Using lifting wavelet transform, combined with the proposed speech coding algorithm, we implement an speech hiding and blind extracting scheme.
3. The design of QT graphical interface, speech coding algorithm and speech hiding algorithm are finished based on Linux operating system and ARM platform.
4. Combining with the OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) and LDPC-OFDM(COFDM) underwater acoustic communication systems, we complete the software design of "Underwater acoustic speech real-time transmission

system and speech concealed communication system based on MELP" based on ARM, and realize the two communication systems working offline. Then we perform simulations and experiments of the speech transmission in underwater acoustic channel in the laboratory pools and Xiamen shallow sea, and the speech concealed communication in underwater acoustic channel in the laboratory pools.

**Key Words:** Speech Coding; Lifting wavelet; Speech hiding;

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 课题研究的背景及意义</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 国内外的研究现状</b> .....	<b>2</b>
1.2.1 水声语音通信的研究现状 .....	2
1.2.2 语音信息隐藏技术的研究现状 .....	3
<b>1.3 论文的主要研究内容</b> .....	<b>3</b>
<b>第二章 语音编码技术和语音隐藏技术</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 语音编码技术</b> .....	<b>5</b>
2.1.1 语音编码的分类 .....	5
2.1.2 语音编码的性能评价 .....	5
<b>2.2 语音隐藏技术</b> .....	<b>7</b>
2.2.1 语音隐藏技术基本原理 .....	7
2.2.2 语音隐藏技术的主流算法 .....	8
2.2.3 语音隐藏技术的性能评价 .....	8
<b>2.3 本章小结</b> .....	<b>10</b>
<b>第三章 2.4KbpsMELP 语音编码算法</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1 MELP 概况</b> .....	<b>11</b>
<b>3.2 MELP 编码过程</b> .....	<b>12</b>
3.2.1 预处理 .....	13
3.2.2 参数提取 .....	14
3.2.3 参数的量化编码 .....	20
3.2.4 参数的比特分配和数据流打包 .....	23
<b>3.3 MELP 解码过程</b> .....	<b>23</b>
3.3.1 参数解码 .....	24
3.3.2 增益抑制 .....	25
3.3.3 参数插值 .....	25
3.3.4 混合激励的产生 .....	26
3.3.5 自适应谱增强 .....	27
3.3.6 线性预测合成 .....	27
3.3.7 增益矫正 .....	28
3.3.8 脉冲散布滤波 .....	28
<b>3.4 本章小结</b> .....	<b>28</b>
<b>第四章 改进的 MELP 算法</b> .....	<b>29</b>



4.1	改进思路.....	29
4.2	算法的实现.....	30
4.2.1	参数量化 .....	30
4.2.2	比特分配方法 .....	33
4.3	算法仿真结果及分析.....	34
4.4	本章小结.....	36
<b>第五章</b>	<b>基于提升小波变换的语音隐藏算法 .....</b>	<b>37</b>
5.1	提升小波变换 .....	37
5.2	语音隐藏算法 .....	39
5.2.1	载体语音的处理.....	40
5.2.2	秘密语音的自适应嵌入.....	41
5.2.3	秘密语音的盲提取 .....	43
5.3	算法仿真结果及分析 .....	43
5.3.1	秘密语音隐藏与提取.....	43
5.3.2	算法的性能评价.....	46
5.4	本章小结.....	50
<b>第六章</b>	<b>水声语音通信及水声语音隐蔽通信系统的实现.....</b>	<b>51</b>
6.1	OFDM 通信系统 .....	51
6.1.1	基带 OFDM 水声通信系统.....	51
6.1.2	COFDM 水声通信系统 .....	52
6.1.3	OFDM、COFDM 水声语音及隐蔽通信系统 .....	52
6.2	嵌入式 Linux 图形界面设计 .....	53
6.2.1	主窗口界面设计 .....	53
6.2.2	系统流程 .....	56
6.3	水声语音通信系统实验 .....	58
6.3.1	水池实验结果及分析.....	58
6.3.2	海试试验结果及分析.....	66
6.4	水声语音隐蔽通信水池实验.....	69
6.4	本章小结.....	73
<b>第七章</b>	<b>总结与展望 .....</b>	<b>74</b>
	参考文献.....	75
	致 谢 .....	78

## Index

<b>Chapter 1. Preface .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Background and Significance .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Research Status at Home and Abroad.....</b>	<b>2</b>
1.2.1 Research Status of Underwater Acoustic Speech Communication.....	2
1.2.2 Research Status of the Speech Hiding Scheme.....	3
<b>1.3 Main Content of the Thesis .....</b>	<b>3</b>
<b>Chapter 2. Speech Coding and Speech Hiding Technology .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Speech Coding Technology .....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Classification.....	5
2.1.2 Performance Evaluation.....	5
<b>2.2 Speech Hiding Technology .....</b>	<b>7</b>
2.2.1 Fundamental Principles.....	7
2.2.2 The Leading Algorithms .....	8
2.2.3 Performance Evaluation.....	8
<b>2.3 Summary.....</b>	<b>10</b>
<b>Chapter 3. 2.4KbpsMELP Speech Coder .....</b>	<b>11</b>
<b>3.1 Survey.....</b>	<b>11</b>
<b>3.2 Encoder .....</b>	<b>12</b>
3.2.1 Pretreatment .....	13
3.2.2 Parameters Extraction .....	14
3.2.3 Parameters Quantization .....	20
3.2.3 Bit Allocation and Bit Stream Generation .....	23
<b>3.3 Decoder .....</b>	<b>23</b>
3.3.1 Parameters Decoder .....	24
3.3.2 Gain Adjustment .....	25
3.3.3 Parameters Interpolation .....	25
3.3.4 The Generation of Mixed Excitation .....	26
3.3.5 The Adaptive Enhancement .....	27
3.3.6 Linear Prediction Analysis Synthesis.....	27
3.3.7 Gain Correction.....	28
3.3.8 Pulse Spread Filtering .....	28
<b>3.4 Summary.....</b>	<b>28</b>
<b>Chapter 4. Improved MELP Algorithm .....</b>	<b>29</b>

<b>4.1</b>	<b>Improvement Mentality.....</b>	<b>29</b>
<b>4.2</b>	<b>The Implementation fo Improved MELP Algorithm.....</b>	<b>30</b>
4.2.1	Parameters Quantization .....	30
4.2.2	Bit Allocation .....	33
<b>4.3</b>	<b>Simulation Results and Analysis.....</b>	<b>34</b>
<b>4.4</b>	<b>Summary.....</b>	<b>36</b>
<b>Chapter 5. Speech Hiding Basd on Lifting Wavelet Transform.....</b>		<b>37</b>
<b>5.1</b>	<b>Lifting Wavelet Transform.....</b>	<b>37</b>
<b>5.2</b>	<b>Speech Hiding Algorithm .....</b>	<b>39</b>
5.2.1	The Treatment of The Host Speech .....	40
5.2.2	Secret Speech Embedding.....	41
5.2.3	Secret Speech Extraction .....	43
<b>5.3</b>	<b>Simulation Results and Analysis.....</b>	<b>43</b>
5.3.1	The Embedding and Extraction of Secret Speech.....	43
5.3.2	Algorithm's Performance.....	46
<b>5.4</b>	<b>Summary.....</b>	<b>50</b>
<b>Chapter 6. The Realization of Underwater Acoustic Speech and Concealed Communication System.....</b>		<b>51</b>
<b>6.1</b>	<b>OFDM Communication System .....</b>	<b>51</b>
6.1.1	OFDM Baseband Underwater Acoustic Communication System.....	51
6.1.2	COFDM Munderwater Acoustic Communication System .....	52
6.1.3	OFDM, COFDM Underwater Acoustic Speech and Its Concealed Communication System .....	52
<b>6.2</b>	<b>Embedded Linux GUI Design.....</b>	<b>53</b>
6.2.1	Main Windows Interface Design .....	53
6.2.2	System Flow.....	56
<b>6.3</b>	<b>Underwater Acoustic Speech Communication System Experiment .....</b>	<b>58</b>
6.3.1	Pool Experimental Results and Analysis .....	58
6.3.2	Pool Experimental Results and Analysis .....	66
<b>6.4</b>	<b>Underwater Acoustic Speech Concealed Communication System Experiment .....</b>	<b>69</b>
<b>6.4</b>	<b>Summary.....</b>	<b>73</b>
<b>Chapter 7. Summary and Prospect.....</b>		<b>74</b>
<b>References.....</b>		<b>75</b>
<b>Acknowledge.....</b>		<b>78</b>

厦门大学博硕士学位论文摘要库

## 第一章 绪论

### 1.1 课题研究的背景及意义

海洋是人类生存和活动的极其重要的领域，伴随着科技的飞速发展，人类也越来越重视对海洋的开发和探索，其中水声语音通信就是一个重要的发展方向。军事上，潜艇、军舰等军事化目标之间通过水声语音通信来加强对海洋的控制；民用上，海啸的预警、资源的开发、考古探测的需求也进一步激发了水声语音通信的发展。而水声信道却是一个极其复杂的时-空-频变参、随机的、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，是实现水声高速通信的主要障碍<sup>[1]</sup>。因此要进行实时的水声语音通信就必须对大数据量的语音信号进行压缩编码。

在语音压缩编码技术中，混合激励线性预测（Mixed Excitation Linear Prediction, MELP）编码算法是一种编码压缩率高、语音合成质量较好的极低速率压缩编码<sup>[2]</sup>，在 1998 年美国军方公布了 2.4Kbps 的 MELP 算法作为一种新的标准后<sup>[3]</sup>，各国对该算法的研究成为极低速率语音压缩技术的一个热点，针对不同的应用环境，在保证一定语音通信质量的同时，压缩比不断加大，语音传输速率进一步降低，从 1.8Kbps 到 1.2Kbps，再到 800bps，甚至于 600bps。

本文针对水声信道的特殊情况，对 2.4kbps MELP 算法进行深入研究，目的在于对其加以改进，在保证接收端解码合成语音的清晰度、可懂度和自然度的前提下，将编码速率降至 800bps，以满足军、民双方对水声语音实时通信的需要。

另一方面，信息隐藏技术的出现和发展，为信息安全的研究和应用拓展了一个新的研究领域。目前，音频领域的信息隐藏技术已经倍受关注，发展越来越迅速。随着军方对水声语音实时通信技术的需求越来越迫切，“水声语音信息隐藏技术”也必将成为研究的重点。

就语音信号的非平稳特征分析处理而言，由于“小波变换”既能考察局部时域过程的频域特征，又能考察局部频域过程的时域特征，因此具有一定的优越性。

本文的目的之二就是研究“语音信息隐藏技术”，基于“提升小波变换”<sup>[4]</sup>，设计一种适合于水声信道的“语音隐藏算法”：对秘密语音进行 MELP 压缩编码，

对非机密的语音进行提升小波变换,将压缩编码后的秘密语音信息不同强度地自适应嵌入到非机密语音的低频子带不同局部特征区域中,从而实现秘密语音的水声高隐蔽通信。

## 1.2 国内外的研究现状

### 1.2.1 水声语音通信的研究现状

水声语音通信就是通过水声信道,将我们的语音信号以最大可能的数据传输率和尽可能高的可靠性发送到接收端。早期的水声语音系统基本上都是采用模拟的单边带调制方式。1945年美国海军水声实验室研制的水下电话是世界上最早的水声语音通信系统,该系统主要应用于潜艇之间的通信,使用单边带调制技术,载波频段8-11kHz,工作距离可达几公里<sup>[5]</sup>。我国的660通信声纳也是采用单边带调制的方式进行水声语音通信。由于模拟系统的功率利用率不高,在几公里的距离上通信就需要达到上百瓦的发射功率,另外,单边带调制技术难度大,实现起来比较困难。

随着数字通信技术的发展,其抗干扰能力强、便于进行各种数字信号处理、易于实现集成化能优势愈加明显,水声通信也采用了各种数字调制方法进行数字通信技术的研究。目前具有代表性的的水声数字语音传输系统有<sup>[6]</sup>:法国研制的 CELP(Code Excited Linear Prediction)系统,水池实验传输速率为6Kbps,采用4-DPSK(Differential Phase Shift Keying)进行调制,海试实验未见报道;另外一个英国拉夫堡大学采用数字脉冲相位调制技术研制的“话音通信系统”,通信速率为2.4Kbps。在国内,哈尔滨工程大学基于G.723.1语音编码算法,对速率为5.3K/6.3Kbps的水声语音通信系统进行硬件设计和实现的研究,但未见有关实验报道。

语音编解码技术是水声语音通信系统的关键技术之一,各国的研究侧重点和研究方法不同,研究的成果有<sup>[7]</sup>:美国国防部的600-800bps语音编码器;法国 Thomson-CSF公司的800bps声码器;加拿大INRS-电信公司的450bps声码器;英国BBN系统和技术公司的300bps分段声码器。国内诸多高校也开展了以MELP、CELP等技术为基础的极低速率语音压缩编码研究,陆续实现了600-1.2Kbps的编

码算法<sup>[9]-[14]</sup>，其中一些已经应用到实践中，但应用于水声信道中，能够实现语音实时、有效传输的编码方法尚未见有文献报道。

### 1.2.2 语音信息隐藏技术的研究现状

现代信息隐藏技术的研究开始于 1983 年 Simmons 在国际密码会议上提出的“囚徒问题”。1996 年英国剑桥大学牛顿研究所召开的第一届国际信息隐藏学术研讨会，标志着一门新兴的交叉学科——信息隐藏学的诞生。经过多次信息隐藏学术会议，研究内容的重点从空域信息隐藏逐步转向变换域信息隐藏；从以数字水印为主的研究逐步转向与数据压缩、数据融合、神经网络等学科相结合的全面理论和应用研究<sup>[15]</sup>。

2007 年，瑞典、挪威、丹麦、芬兰、德国、荷兰和意大利这七个欧洲国家及这些国家的 12 个公司和组织正在联合开展一项名为 UCAC (UUV (无人水下航行器) 隐蔽声音通信) 研制计划，目的是提高水下隐蔽通信能力。俄国海军能以 6bit/s 的速率在 2—10kHz 带宽内，沿水平方向实现潜艇间大作用距离 (100km)、极低误码率和高隐蔽性的文字传输。“弗吉尼亚”级核潜艇是美国在海军新战略及新的世界格局下的新产品，装备了甚低频、极低频拖曳天线，可以实现对水下、冰层下 100m 范围内的隐蔽通信<sup>[16]</sup>。

在国内，1999 年 12 月召开了第一届全国信息隐藏学术研讨会，标志着我国信息隐藏技术研究和应用的开始。但目前对语音信息隐藏技术的研究还相对较少，数字音频的信息隐藏技术很少见有报导，尤其在“基于水声信道的语音隐蔽通信研究”方面，更是尚未见有公开的文献报导。

## 1.3 论文的主要研究内容

本文将结合 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)水声通信系统，重点研究基于 MELP 算法的水声语音通信，并利用信息隐藏原理，进行水声语音隐蔽通信的研究和尝试。

论文章节具体安排如下：

第一章为绪论，对论文的研究背景和意义，以及水声语音通信和水声语音隐蔽技术的国内外研究现状进行了简述。

第二章主要介绍了语音编码技术和信息隐藏技术的基本理论和一些主、客观评价方法。

第三章详细叙述了 2.4KbpsMELP 算法的构成原理。

第四章在对 2.4KbpsMELP 算法研究的基础上, 综合各文献所介绍不同速率 MELP 算法的优势, 提出了一种改进型 800bpsMELP 算法, 并给出了理想情况下的仿真结果。

第五章介绍了提升小波算法, 在此基础上提出了基于提升小波变换和本文 MELP 算法的一种自适应语音隐藏和盲提取的方法, 并给出了仿真结果。

第六章首先简要介绍了 OFDM 水声通信系统和 LDPC(Low Density Parity Check Code)信道编码技术, 并在 ARM 上完成了 QT 界面设计工作、语音压缩编解码算法及语音隐藏算法向 ARM 中的移植, 结合实验室原有 OFDM、LDPC-OFDM(下文简称 COFDM)两类水声通信系统样机, 完成了“基于 MELP 的水声语音实时传输及语音隐蔽通信系统”在 ARM 中的软件设计工作, 实现了两个通信系统的脱机独立运行, 对两个通信系统分别进行了水池实验和厦门港浅海域海洋声信道实验, 给出了实验结果和小结。

第七章对全文作了总结, 对未来工作进行展望。

论文的创新之处为:

1. 对 2.4KbpsMELP 算法进行研究, 提出了一种 800bps 的语音编码方法, 实验室水池和厦门港浅海域实际的水声信道传输实验证明了本算法能适用于恶劣的水声环境, 经本文算法处理后的语音信号, 经接收端解码还原后, 合成语音质量良好: 具有较好的清晰度、易懂度和自然度。

2. 基于提升小波变换, 利用本文提出的 800bps 语音编码方法, 设计了一种嵌入强度大的自适应嵌入和盲提取语音隐藏算法, 为水声的语音隐藏通信做了一个突破性的研究和尝试, 仿真和水池实验证明了该算法在较高的嵌入强度下, 具备较好的透明性和鲁棒性。

3. 在实验室原有 OFDM、COFDM 两类水声通信系统样机的基础上, 完成了语音压缩编解码算法及语音隐藏算法向 ARM 中的移植, 以及“基于 MELP 的水声语音实时传输及语音隐蔽通信”两个系统在 ARM 中的工作软件设计, 实现了两个通信系统的脱机独立运行, 并进行了相应的海试和水池实验。



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](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库