

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 23320071152187

UDC_____

廈門大學

硕士学位论文

基于图像的高隐蔽性水声通信技术研究

Research on the Technology of Concealed Image Processing
for Underwater Acoustic Communication

叶长源

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: 2010年5月

论文答辩时间: 2010年 月

学位授予日期: 2010年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2010年5月

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

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

本文利用信息隐藏原理, 结合 OFDM 水声通信技术, 对实现图像水声隐蔽通信的相关技术进行了研究, 重点研究了基于公开图像的秘密图像高效隐藏及盲提取算法, 构建了一个“基于图像的高隐蔽性水声通信系统”。

论文依据空间域和小波域的特点, 结合纹理分析的方法, 提出了两种新的信息隐藏算法: ①将秘密信息自适应嵌入载体图像小波域低频子带的同时, 实现了小波域中频子带秘密信息的再嵌入。实验证明: 该算法在兼顾含密图像视觉质量的前提下, 获得了更大的嵌入强度: 分别是改进前算法的 1.90 倍和 1.66 倍; ②提出了“置乱秘密图像压缩编码”的新算法, 在不影响保密性的前提下, 大大提高了嵌入强度, 实验证明: 嵌入强度高达 62.44%, 是第一种新算法的 4 倍。

论文主要工作如下:

- 1.对秘密图像进行预处理: 包括图像置乱、图像加密以及图像的有损压缩, 掩密密钥确定;
- 2.采用整数提升小波变换, 研究了两种依据图像纹理特性, 实现由人眼视觉系统(HVS)阈值决定载体图像嵌入深度的自适应隐藏算法, 并在此基础上提出了一种新算法, 以进一步提高嵌入强度, 给出了上述三种算法实现秘密图像盲提取的具体方法;
- 3.对利用上述三种不同自适应信息隐藏算法实现的含密图像进行了各种鲁棒性攻击测试;
- 4.将自适应信息隐藏算法与水声 OFDM 基带通信系统相结合, 完成了“基于图像的水下高隐蔽性通信系统”设计, 进行了 AWGN 信道图像隐蔽通信仿真和实验室水池水声信道图像隐蔽通信实验。

关键字: OFDM 水声通信; 信息隐藏; 整数提升小波变换

Abstract

This thesis researches image hiding technologies for underwater acoustic communication, focusing on the algorithms of public image hiding and blind extracting, and constructs an underwater acoustic communication system for concealed image processing.

According to the space domain and wavelet domain features, combined with texture analysis method, two new information hiding algorithms are proposed.

① The secret information is adaptively embedded into low-frequency sub-band of carrier image in wavelet domain while achieving re-embedding secret information of intermediate frequency sub-band in wavelet domain. Experimental results show: the algorithm gains a greater embedding strength under the premise of taking into account the visual quality of the stego image, 1.90 times and 1.66 times of the former algorithms respectively. ② The new algorithm "secret image scrambling and compression coding" is proposed. The embedding strength is greatly increased without influence on confidentiality. Experimental results show: Embedding strength is 4 times of the first new algorithm, up to 62.44%.

Main work of this paper is as follows:

1. The secret hiding image is preprocessed, including scrambling, encryption and image lossy compression, steganography key determination.
2. Using integer lifting wavelet transform, two adaptive hiding algorithms are researched, according to the image texture characteristic. In the algorithms, embedding strength of carrier image is determined by the human visual system (HVS) threshold. On this basis, a new algorithm to further improve the embedding strength is proposed, and the three blind extraction algorithms are concretely given.
3. A variety of robust tests are done on the stego image using the above three adaptive information hiding algorithms.
4. The adaptive information hiding algorithm is combined with underwater

acoustic baseband OFDM communication system. The underwater acoustic communication system for concealed image processing is designed. Simulation under AWGN channel and laboratory pool experiments are carried out.

Key Words: OFDM UWA; Information hiding; Integer lifting wavelet transform

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

第一章 绪论	1
1.1 课题研究背景及意义	1
1.2 水下信息隐藏技术国内外研究现状	2
1.3 本文的研究内容及章节安排	3
1.4 本论文创新之处	4
第二章 信息隐藏技术简介	5
2.1 信息隐藏技术概述	5
2.1.1 信息隐藏技术的一般模型	5
2.1.2 信息隐藏技术的特性	6
2.2 图像隐藏技术	7
2.2.1 空间域信息隐藏算法	8
2.2.2 变换域信息隐藏算法	9
2.3 图像信息隐藏的性能指标	13
2.3.1 主观评价	13
2.3.2 客观评价	14
2.4 本章小结	15
第三章 秘密图像的预处理	16
3.1 秘密图像置乱	16
3.1.1 图像置乱的基本含义	16
3.1.2 图像 Arnold 变换	16
3.1.3 图像 Arnold 变换的置乱度	18
3.2 基于混沌的秘密图像加密	22
3.2.1 混沌的主要特征	22
3.2.2 基于耦合 Logistic 混沌映射的图像加密	23
3.2.3 掩密密钥的确定	26
3.2.4 含密图像相邻像素相关性比较	28
3.3 秘密图像的有损压缩	29
3.3.1 秘密图像有损压缩的意义	29
3.3.2 SPIHT 算法原理	30
3.3.3 SPIHT 算法流程及实现	30
3.3.4 秘密图像有损压缩与图像加密的结合	33
3.4 本章小结	34
第四章 小波变换域信息自适应隐藏及盲提取	35
4.1 整数提升小波变换	35
4.1.1 提升小波变换的基本方法	35
4.1.2 整数小波的提升算法	37

4.2 人眼视觉系统特性	39
4.2.1 人眼视觉系统 (HVS)	39
4.2.2 基于 HVS 的图像纹理分析原理	40
4.3 自适应隐藏算法实现	44
4.3.1 基于非零小波系数统计的自适应隐藏算法	44
4.3.2 基于熵阈值与变异度阈值进行图像分类的自适应隐藏算法	45
4.3.3 本文提出的新算法: 高嵌入容量的自适应隐藏算法	45
4.4 本章小结	47
第五章 实验与分析	48
5.1 实验样本及评价标准	48
5.1.1 实验样本	48
5.1.2 实验评价标准	49
5.2 图像隐藏与提取实验结果及分析	49
5.2.1 基于非零小波系数统计的自适应隐藏算法	49
5.2.2 基于熵阈值与变异度阈值进行图像分类的自适应隐藏算法	50
5.2.3 基于 HVS 纹理分析的高嵌入容量自适应隐藏算法	52
5.2.4 秘密图像经压缩编码处理后的自适应隐藏算法	53
5.3 鲁棒性实验结果及分析	54
5.3.1 椒盐噪声攻击	55
5.3.2 高斯噪声攻击	56
5.3.3 高斯低通滤波攻击	58
5.3.4 自适应隐藏与盲提取压缩秘密图像的鲁棒性	59
5.4 本章小结	60
第六章 基于图像的高隐蔽性水声通信系统	62
6.1 基带 OFDM 图像隐藏传输系统	62
6.1.1 基带 OFDM 通信系统	62
6.1.2 基于图像的高隐蔽性水声通信系统	63
6.2 图像隐藏与提取实验结果及分析	63
6.2.1 在 AWGN 信道下对含密图像进行传输	64
6.2.2 水池实验	70
6.3 本章小结	79
第七章 总结与展望	80
7.1 主要研究工作总结	80
7.2 进一步研究展望	81
参考文献	82
致 谢	86

Index

Chapter 1. Preface	1
1.1 Background and Significance	1
1.2 Research Status at Home and Abroad.....	2
1.3 Main Content and Arrangement of the Thesis.....	3
1.4 Innovation of the Thesis	4
Chapter 2. Information Hiding Technology Overview	5
2.1 Introduction of Information Hiding Technology	5
2.1.1 General Model of Information Hiding Technology	5
2.1.2 Characteristics of Information Hiding Technology	6
2.2 Image Hiding Technology.....	7
2.2.1 Information Hiding Algorithm Based on Space Domain.....	8
2.2.2 Information Hiding Algorithm Based on Transform Domain.....	9
2.3 Performance Index of Image Information Hiding.....	13
2.3.1 Subjective Evaluation	13
2.3.2 Objective Evaluation.....	14
2.4 Summary.....	15
Chapter 3. Secret Image Preprocessing	16
3.1 Secret Image Scrambling	16
3.1.1 Basic Concept of Image Scrambling.....	16
3.1.2 Arnold Transform of Image	16
3.1.3 Scrambling Degree of Arnold Transform of Image	18
3.2 Secret Image Encryption Based On Chaos.....	22
3.2.1 Main Characteristics of Chaos	22
3.2.2 Image Encryption Based on Coupling Logistic Chaotic Mapping	23
3.2.3 Determination Steganography Key	26
3.2.4 Correlation of Adjacent Pixels Comparison of Stego Image	28
3.3 Lossy Compression of Secret Image.....	29
3.3.1 Significance of Lossy Compression of Secret Image	29
3.3.2 SPIHT Algorithm Principle.....	30
3.3.3 SPIHT Algorithm Flow and Implementation.....	30
3.3.4 Combination of Lossy Compression with Image Encryption.....	33
3.4 Summary.....	34
Chapter 4. Adaptive Information Hiding and Blind Extracting on	
Wavelet Transform Domain.....	35
4.1 Integer Lifting Wavelet Transform	35
4.1.1 Basic Method of Lifting Wavelet Transform	35

4.1.2 Lifting Algorithm Integer Wavelet.....	37
4.2 Characteristics of Human Visual System	39
4.2.1 Human Visual System (HVS)	39
4.2.2 Image Texture Analysis Principle Based on HVS	40
4.3 Implementation of Adaptive Information Hiding Algorithm	44
4.3.1 Adaptive Information Hiding Algorithm Based on Nonzero Wavelet Coefficient Statistics	44
4.3.2 Adaptive Information Hiding Algorithm Based on Image Classification by Entropy Threshold and CV Threshold.....	45
4.3.3 Adaptive Information Hiding Algorithm Based on High Embedding Capacity	45
4.4 Summary.....	47
Chapter 5. Experiments and Analysis.....	48
5.1 Experimental Samples and Evaluation Standard	48
5.1.1 Experimental Samples	48
5.1.2 Experimental Evaluation Standard.....	49
5.2 Experimental Results and Analysis of Image Hiding and Extracting...49	49
5.2.1 Adaptive Information Hiding Algorithm Based on Nonzero Wavelet Coefficient Statistics	49
5.2.2 Adaptive Information Hiding Algorithm Based on Image Classification by Entropy Threshold and CV Threshold	50
5.2.3 Adaptive Information Hiding Algorithm Based on High Embedding Capacity	52
5.2.4 Adaptive Information Hiding Algorithm Based on Secret Image Compression	53
5.3 Experimental Results and Analysis of Robust.....	54
5.3.1 Attacks of Salt and Pepper Noise.....	55
5.3.2 Attacks of Gaussian Noise	56
5.3.3 Attacks of Gaussian Low Pass Filtering	58
5.3.4 Robust of Compressed Secret Image	59
5.4 Summary.....	60
Chapter 6. Concealed Image Processing for Underwater Acoustic Communication.....	62
6.1 Concealed Image Processing for OFDM Baseband Communication System	62
6.1.1 OFDM Baseband Communication System.....	62
6.1.2 Concealed Image Processing for Underwater Acoustic Communication System.....	63
6.2 Experimental Results and Analysis of Image Hiding and Extracting...63	63
6.2.1 Stego Image Transmission under AWGN Channel.....	64
6.2.2 Pool Test.....	70

6.3 Summary.....	79
Chapter 7. Summary and Prospect.....	80
7.1 Research Summary	80
7.2 Research Prospect	81
References	82
Acknowledge.....	86

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

1.1 课题研究背景及意义

随着人类对海洋的进一步开发,海洋的军事及经济利益日渐凸显。军事上,对海洋的控制,是一场现代化高技术战争成败的关键因素。经济上,对海洋资源、考古探测需求的增加,也进一步激发民用水声技术的发展。不论是战争中发送的指令,还是在探测过程中收集到的信息,大多属于秘密信息。如何安全、准确、实时地传输秘密信息,是水声通信领域研究的一项重要内容。

图像传输是水下信息获取的一种直观、快速的方式,特别适合于难以用语音表达的信息,它包括彩色、多灰度级图像(如水下战需要的海底的地形、地貌、水雷分布等)以及二灰度级的图形、图像(如文字、指令、密码和数据)等信息的传输。

对于经济方面而言,人们可以通过立法来加强对知识产权的保护,打击非法的商业机密窃取行为,但对于军事方面而言,通过技术手段来加强对信息安全的维护才是问题的解决之道。人们通常认为对信息的加密,是实现信息安全的一个良好措施。根据传统密码学理论开发的通信加解密系统,不管是对称密钥系统(如DES)还是安全性更高的公开密钥系统(RSA),对于机密文件的处理都是将其加密成密文,使得信息传输过程中出现的非法拦截者无法从中获取秘密信息,从而达到保密的目的^[1]。虽然信息加密系统在信息传输中可以起到保护作用,但是数据一旦被截获并解密,其保护作用也随之消失。同时,杂乱无章的密文,会引起攻击者的好奇和注意,可能导致秘密信息的破解和损坏。随着计算机处理速度的提高,通过密钥长度的增加来提高系统安全性的方法,变得越来越不可靠。于是人们把目光转向隐蔽性更强的信息隐藏技术。

信息隐藏,也称为信息伪装,是将秘密信息隐藏在非机密的信息之中,实现隐蔽通信或隐蔽标识的技术。信息隐藏和密码学都用于秘密通信,但两者有明显的区别。密码技术是通过特殊的编码将要传递的秘密信息转变成密码的形式,以对通信双方之外的第三者隐藏信息内容,而信息隐藏则是对第三者完全隐藏了秘密

信息的存在。它把一个秘密信息(如水下战需要的水雷分布图)通过某种嵌入算法隐藏到载体信息中,从而得到隐密载体,非法者不知道这个载体信息中是否隐藏了其它的信息,而且即使知道,也难以提取或去除隐藏的信息。隐秘载体通过信道到达接收方后,接收方通过检测器利用密钥从中恢复或检测出隐藏的秘密信息,载体通常可以是文字、图像、声音及视频等。

信息隐藏的目的不在于限制秘密信息本身的可读性,而在于保证其不被攻击者注意和重视,从而减少被侵犯的可能性^[2]。因此,与传统的加密方式相比,信息隐藏技术的隐蔽性更强。如果将其与传统的信息加密技术相结合,对秘密信息进行加密预处理,再将处理后的秘密信息嵌入公开的载体中,既能加强秘密信息的保密性,也能提高其不可觉察性。

本文尝试“利用图像的水声传输,开展基于信息隐藏的隐蔽通信关键技术”研究,将“隐蔽通信”的概念由陆上无线通信网、光纤网的范畴扩展至“水下无线通信—水声通信、水声网络”的领域,以期推进水声保密通信的新进展,构建军、民迫切需要的“水声隐蔽保密通信系统”。

1.2 水下信息隐藏技术国内外研究现状

信息隐藏技术是一项古老的技术,最早可以追溯到古希腊的隐秘术(Steganography),其字面含义是“隐写”,表示将秘密信息隐藏于另一种信息之中,从而确保秘密信息的安全传输。中国古代的纸板伪装法和藏头诗,也都起到了隐藏信息的效果。

但1983年Simmons在国际密码会议上提出的“囚徒问题”却标志着现代信息隐藏技术研究的开始^[3]。1992年,信息隐形性研究在国际上被正式提出。1996年英国剑桥大学召开的第一届国际信息隐藏学术研讨会,推动了信息隐藏的理论和研究工作。此次会议提出了信息隐藏学科的框架和分支,对信息隐藏的术语进行了统一和规范,并给出了相应的解释^[4]。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^[5]。

国内,信息隐藏技术的研究从80年代开始起步,近年来,国家有关部门也日益重视此方面的研究。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。国内数家科研机构 and 高校也都进行了此项研究。同时，国家“973 项目”，“863 计划”，国家自然科学基金等均对信息隐藏的研究项目给予高度重视和大力支持。

以上研究，基本上是由于陆地 Internet 网的军、民两用迅速普及，网络传输的信息安全已成为迫切的需要。

水声通信是复杂的时、空、频变参信道，具有高衰减、高噪声、可用频带窄、强多途径干扰等特点，是实现高传输速率、低误码率水声通信的主要障碍。近年来，将信息隐藏技术与水声通信相结合的“基于水声信道的隐蔽通信”正成为西方发达国家新的研究热点。鉴于严格保密的原因，目前此类研究却很少有公开的报导。仅有的资料显示：

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。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^[42]。该合作项目将持续三年，瑞典 Saab 公司在该项目中起牵头作用。依照计划，该通信系统在 2008 年进行无人水下航行器上的测试。“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^[6]。

国内“基于水声信道的隐蔽通信研究”尚在探索阶段，未见有公开的学术报导。

1.3 本文的研究内容及章节安排

正交频分复用（OFDM）是一种多载波调制的方式，它利用多个正交子载波并行传输数据，具有频谱利用率高，良好的抗多径干扰能力，成为目前水声通信研究的热点^[8]。本文将利用信息隐藏原理为基础，结合 OFDM 通信系统，重点研究基于公开图像的保密图像或文本信息的高效隐藏及盲提取技术，寻找一种在水声通信中安全、隐蔽、高效地进行军事保密通信的方法。

本文的具体内容安排如下：

第一章 介绍论文的背景和研究意义，研究了国内外水下隐蔽通信的动态。

第二章 介绍信息隐藏技术的基础知识，分析图像信息隐藏技术的典型算法，并给出图像质量评价的主观和客观方法。

第三章 首先讨论了秘密图像加密方式的选取与结合，介绍秘密图像置乱及混沌映射加密的原理。最后介绍秘密图像的有损压缩方法。

第四章 介绍了第二代提升小波算法，重点介绍 9-7 整数提升小波变换的原理及算法实现。研究了两种利用 HVS 和提升小波技术对秘密图像进行自适应嵌入的算法，并在此基础上提出了一种新的自适应隐藏算法，介绍了三种算法秘密图像盲提取的实现方法。

第五章 首先介绍了图像质量主客观评价标准的评测算法，对三种算法含密图像及嵌有经有损压缩和加密处理的秘密图像的含密图像进行了鲁棒性实验，给出了实验结果和实验小结。

第六章 完成了基于图像的高隐蔽性 OFDM 水声通信系统设计，进行了 AWGN 信道图像传输仿真和实验室水池水声信道图像传输实验，给出了实验结果和实验小结。

第七章 对全文工作做出总结，并提出对未来工作的展望。

1.4 本论文创新之处

- ① 将秘密信息自适应嵌入载体图像小波域低频子带的同时，实现了小波域中频子带秘密信息的再嵌入。实验证明：该算法在兼顾不可感知性、鲁棒性的前提下，获得了更大的嵌入强度。
- ② 提出了“置乱秘密图像的压缩编码”新算法，在提升秘密图像保密性、兼顾不可感知性、鲁棒性的同时，大大提高了嵌入强度，实验证明：嵌入强度高达 62.44%，是第一种新算法的 4 倍。
- ③ 将信息隐藏技术与高速水声 OFDM 通信系统相结合，构建了“基于图像的高隐蔽性水声通信系统”，并进行了水声信道的含密图像传输实验。

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 for delivery details.

厦门大学博硕士学位论文摘要库