

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 23320131153275

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于信号增强与特征提取的港口疏浚抛泥
检测研究

Research on Sand Dumping Detection of Harbor Dredging
Based on Signal Enhancement and Feature Extraction

钟 张 婷

指导教师: 袁 飞 副教授

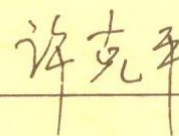
专业名称: 电子与通信工程

论文提交日期: 2016 年 5 月

论文答辩日期: 2016 年 5 月

学位授予日期: 2016 年 月

答辩委员会主席:



评 阅 人:

2016 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): 钟张婷

2016年5月18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): 钟张婷

2016年5月18日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

随着海洋经济发展，各国对港区建设和航道维护愈加重视。但是，在利益驱使下，疏浚驳船常常在非指定区倾倒泥沙，导致航道内泥沙淤积甚至断航，航道维护成本增加和生态环境破坏。目前，国内普遍采用安装摄像头、吃水线检测等监控方法，但易受人为破坏和环境因素的影响无法获得好的效果。国外采用更改倾倒区和自然处理的手段并不适用于我国流域众多的国情。因此，航道管理部门急需一种非接触式、稳定可靠的监控手段，以保证疏浚工程作业的质量。

本文根据混浊海水声吸收的原理，周期性地发送和接收 Chirp 探测信号，利用随机共振和时间反转镜技术对接收信号进行增强，并通过希尔伯特-黄变换和稀疏表示的方法提取探测信号成分并获取特征参数，检测疏浚驳船是否违规倾倒。通过大量数据样本和不同分类器训练验证了该方案的可行性。

本文的主要工作内容如下：

1) 建立了港口疏浚抛泥云团运动模型及浅海水声信道仿真模型，为抛泥检测的方法研究提供了必要的理论支撑和仿真平台，通过该仿真平台能够模拟出探测信号在不同场景下（“无抛泥”和“抛泥”）的接收信号，用来进一步分析。

2) 利用随机共振信号增强能力和时间反转镜自适应信道、消除多径效应的作用，将随机共振和时间反转镜技术应用于抛泥探测信号的增强中，从而增加探测距离，提高检测概率。

3) 利用基于集合经验模态分解的希尔伯特黄变换和稀疏表示的去噪能力和信号重构能力，将上述两种技术应用于抛泥探测信号的检测和分析，通过对“无抛泥”和“抛泥”这两种状态的信号做分析对比，发现两者的时频图、希尔伯特边际谱和稀疏度有明显差异。对不同抛泥量的场景下进行大量的数据仿真，利用分类器分析发现，采用文中所提取的五种特征作为特征参数能够较好得区别“抛泥”和“无抛泥”的状态。

关键字：抛泥检测；随机共振；时间反转镜；集合经验模态分解；稀疏表示

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

With the development of Marine economy, the construction of port and waterway maintenance was paid more and more attention to. However, dredging barges always dump illegally due to benefit, which will lead to a silting in the waterway, a huge economic loss and serious damage to ecological environment. The measures taken generally at present, such as installing cameras and water-line detection, are unsatisfactory in practical application, because they're easy to be destroyed by humans and influenced by some environmental factors. Change dumping ground and natural treatment approach was not suitable for the conditions of our country. Domestic waterway managements are crying out for a non-contact and reliable monitoring to supervise effectively the operating behavior of barges and ensuring the quality of the dredging.

In this thesis, according to the theory of sound absorption in turbid seawater, transmits and receives a Chirp signal periodically and take advantage of stochastic resonance and time reversal mirror to enhance the receipt signal. Through the method of Hilbert-Huang transform and sparse representation to detect signal and extract feature, so as to judge whether the dredging barges dump illegally. The scheme has been verified availably through a mass of data and different classifiers.

The main contents of this dissertation are listed below:

1) The model of dredge dumping and shallow water acoustic channel have been built, which provides the necessary simulation platform to research the method of dumping detection. The probe signal (No-dumping signal and Dumping signal) can be simulated through the simulation platform, and will be used for the further algorithm analysis and verification.

2) Take advantage of the ability of signal enhancement of stochastic resonance and the ability of adaptive channel of time reversal mirror, stochastic resonance and time reversal mirror were applied to enhance signal, thereby increase the detection range and improve the detection probability.

3) In view of the strong capabilities in de-noising and signal reconstruction of Hilbert-Huang transform and sparse representation, the two techniques were used for signal detection and analysis. There are great differences in time-frequency graph, Hilbert marginal spectrum and sparse degree between the no-dumping state and the dumping state by analyzing the receipt signals in the two states. A mass simulation under different scenarios has been done and the classifiers were used to classify, the results indicate that the features are able to make a clear distinction between the two states (No-dumping and Dumping).

Keywords: Dumping Detection; Stochastic Resonance; Time Reversal Mirror; EEMD; Sparse Representation

目 录	
第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及选题意义	1
1.2 国内外研究进展概况	2
1.3 研究内容与论文结构	3
第 2 章 抛泥信道模型及对声线传播影响	5
2.1 引言	5
2.2 海洋环境噪声模型	5
2.3 抛泥云团运动模型	7
2.3.1 泥沙云团运动模型	7
2.3.2 抛泥云团状态仿真	9
2.4 抛泥云团对声线能量影响	10
2.4.1 海水声吸收模型	10
2.4.2 混浊海水的声吸收系数	11
2.4.3 声吸收系数仿真及讨论	15
2.5 抛泥多径信道建模	17
2.5.1 经典多径信道模型	17
2.5.2 经典多径信道模型比较	20
2.5.3 基于等声速剖面的抛泥信道模型	22
2.6 本章小结	23
第 3 章 疏浚抛泥信号增强方法研究	25
3.1 引言	25
3.2 随机共振水声弱信号增强分析	25
3.2.1 随机共振模型分析	25
3.2.2 随机共振求解理论	28
3.2.3 随机共振性能分析	33
3.3 时间反转镜抑制多径干扰分析	36

3.3.1 时间反转镜原理	37
3.3.2 时间反转镜性能分析	41
3.4 随机共振与时间反转镜组合技术	42
3.4.1 组合框架讨论	42
3.4.2 组合性能分析	43
3.5 本章小结	46
第 4 章 疏浚抛泥信号分析与特征提取	47
4.1 引言	47
4.2 探测信号经典检测法比较	47
4.2.1 Chirp 信号经典检测法	47
4.2.2 基于 EEMD 的希尔伯特-黄变换 (HHT)	55
4.2.3 Chirp 信号各检测法性能比较	58
4.3 基于稀疏表示理论的信号分析	63
4.3.1 稀疏表示基本原理	63
4.3.2 字典学习算法	65
4.3.3 稀疏分解算法	67
4.3.4 稀疏表示性能分析	70
4.4 疏浚抛泥探测信号特征提取与分类	72
4.4.1 探测信号特征选取	72
4.4.2 特征稳定性与分类效果分析	75
4.5 本章小结	79
第 5 章 总结与展望	81
5.1 主要工作和创新	81
5.2 后续工作展望	82
参考文献	83
科研成果与项目参与情况	89
致谢	91

Catalog

CHAPTER 1 INTRODUCTION	1
1.1 RESEARCH BACKGROUND AND SIGNIFICANCE.....	1
1.2 RESEARCH PROGRESS OVERVIEW IN HOME AND ABROAD	2
1.3 THE MAIN CONTENT AND ORGANIZATION	3
CHAPTER 2 MODELS OF DREDGE DUMPING AND INFLUENCE ON SIGNAL.....	5
2.1 INTRODUCTION.....	5
2.2 MODEL OF BACKGROUND NOISE IN SHALLOW-WATER.....	5
2.3 CLOUD MOTION MODEL CAUSED BY DUMPING.....	7
2.3.1 Model of Cloud Motion	7
2.3.2 Simulation of the Particle Clouds.....	9
2.4 MODEL OF SOUND ABSORPTION IN TURBID SEAWATER.....	10
2.4.1 Model of Sound Absorption.....	10
2.4.2 Sound Absorption Coefficient in Turbid Seawater.....	11
2.4.3 Simulations and Discussion for Sound Absorption Coefficient	15
2.5 MULTI-PATH ACOUSTIC COMMUNICATION CHANNEL MODEL	17
2.5.1 Classical Multi-Path Channel Models.....	17
2.5.2 Comparison of Different Multi-Path Channel Model	20
2.5.3 Dredge Dumping Model Base on Determinate Channel.....	22
2.6 CHAPTER SUMMARY.....	23
CHAPTER 3 WEAK SIGNAL ENHANCEMENT IN DREDGE DUMPING.....	25
3.1 INTRODUCTION.....	25
3.2 ANANLYSIS OF SIGNAL ENHANCEMENT BASE ON STOCHASTIC RESONANCE.....	25
3.2.1 Model of Stochastic Resonance	25
3.2.2 Theory of Stochastic Resonance	28
3.2.3 Analysis of Performance of Stochastic Resonance	33
3.3 INHIBITION OF MULTIPATH INTERFERENCE BASE ON TIME REVERSAL MIRROR	36
3.3.1 Theory of Time Reversal Mirror	37

3.3.2 Analysis of Performance of Time Reversal Mirror	41
3.4 ANALYSIS OF COMBINATION OF STOCHASTIC RESONANCE AND TRM	42
3.4.1 Discussion for Combination Framework	42
3.4.2 Analysis of Performance of The Combination	43
3.5 CHAPTER SUMMARY.....	46
CHAPTER 4 SIGNAL ANALYSIS AND FEATURE EXTRACTION	47
4.1 INTRODUCTION.....	47
4.2 CLASSIC DETECTION METHOD	47
4.2.1 Classic Detection Method of Chirp Signal.....	47
4.2.2 Hilbert Huang Transform Base on EEMD	55
4.2.3 Comparison of Different Detection Method.....	58
4.3 SIGNAL ANALYSIS BASE ON THEORY OF SPARSE REPRESENTATION	63
4.3.1 Theory of Sparse Representation	63
4.3.2 Algorithm of Dictionary Learning.....	65
4.3.3 Algorithm of Sparse Decomposition	67
4.3.4 Analysis of Performance of Sparse Representation	70
4.4 FEATURE EXTRACTION AND CLASSIFY	72
4.4.1 Feature Extraction for Detected Signal	72
4.4.2 Analysis of Stability of Feature and Performance of Classification.....	75
4.5 CHAPTER SUMMARY.....	79
CHAPTER 5 CONCLUSIONS AND FUTURE WORK	81
5.1 MAIN WORK AND INNOVATION.....	81
5.2 FUTURE WORK.....	82
REFERENCES.....	83
RESEARCH ACHIEVEMENT AND PROJECT ATTENDED.....	89
ACKNOWLEDGEMENTS.....	91

第 1 章 绪论

1.1 研究背景及选题意义

海洋拥有丰富的资源，海洋经济作为国民经济的重要组成部分，越来越受到各国关注。世界上近百个沿海国家均制定了以推动海洋经济发展为目标的政策。2007 年，美国提出了《美国海洋科学未来十年之路—海洋优先研究领域计划和实施战略》；2008 年，日本发布了《海洋基本计划草案》；2010 年，英国制定了《2010-2025 年海洋科学战略》；同年，普京签署了《2030 年前俄罗斯联邦海洋工作发展战略》^[1]。我国于十六大期间提出《全国海洋经济发展规划纲要》，十八大强调“海洋强国”战略，2012 年印发《全国海洋经济发展“十二五”规划》。随着一系列针对海洋经济发展建设战略政策的实施，各国对港区建设和航道维护提出了新的要求，疏浚工程和基础建设工程的规模将不断增大，港航建设及维护产生的疏浚泥量飞速增长。英国哈里奇港口管理局每年对哈里奇湾和哈里奇河口及 3 个港口的进港航道和港池进行清淤，挖泥量超过 300 万 m^3 ，费用大约为 700 万英镑，这是管理局每年最大的单项支出费用^[2]。2008 年，厦门投资约 1 亿元采用“一月一测”、“一淤即挖”的长期维护策略，疏浚量约 385 万立方米^[3]。

目前疏浚泥沙的处置手段主要有吹填法、边抛法和水下抛泥法等。水下抛泥的工程成本较低，是当前国内港口、航道疏浚泥沙的主流处置手段。但水下抛泥会对港口水质、港口水域环境、水底地形及港口航道等产生影响。因此，水下抛泥通常要求疏浚船到指定的地点才能倾倒沙泥。而指定抛泥区往往较远，增加疏浚工程承建单位的抛泥成本，所以在利益驱使下，疏浚船舶往往不行驶至规定深度的指定抛泥区进行倾倒，而是在运输过程甚至在进出港航道上就近倾倒。这不仅容易造成航道内泥沙急剧淤积，导致枯水季节阻航甚至断航的发生，影响航道畅通，威胁进出港船舶的通行安全，而且导致清理和养护航道的成本大幅增加^[4]。同时，造成海洋生态环境较大程度的破坏^{[5][6][7][8]}。

然而，由于疏浚工程量大，疏浚船舶类型和数量众多，且疏浚船舶在进行水下抛泥时具有很强的隐蔽性，从而增加了相关管理部门对船舶疏浚作业和泥沙倾

倒过程的监管和违规操作取证的难度。因此，有关部门急需针对疏浚作业中存在的违规倾倒泥土行为监测难和取证难等问题采取有效措施。

1.2 国内外研究进展概况

我国早期为了监控疏浚驳船载运状态及违规抛泥行为，主要采用跟船监督与其它船舶监督结合的方式。2013年，海事局发布了《关于加强砂石运输船施工船安全管理工作的通知》，规定相关部门加大检查船舶装载情况的力度及频度^[9]。目前，疏浚工程主要以旁站的方式对施工全过程进行24小时全方位监管^[10]。虽然取得了一定成效，但消耗了大量人力物力，且监管技术设备不够到位，监管效果仍有待提升。

国内部分学者提出安装船舶吃水线检测装置、倾倒设备控制记录仪、货舱液面探测仪等方法检测船舶吃水及载重，但是这些设备对环境要求高，海浪等因素将影响检测结果，无法得到满意的应用效果^[11]。文献[12-14]提到利用超声波回波、压力传感器、微波测量系统、电子水尺等进行检测，优点是准确度高，仪器体积小。但其在水中传输距离有限，且测量结果可能受环境和人为因素影响。文献[15]提出在疏浚船舶上安装全球定位系统（Global Position System, GPS）实时检测船舶位置及轨迹，这种方法能够在一定程度上约束船主违规抛沙行为，但无法检测其是否有违规抛泥行为，只能检测其轨迹。文献[16]和一些疏浚公司应用卫星定位等技术，研究了疏浚驳船信息一体化系统并尝试开发港航工程船舶载运信息监测终端，这些措施虽然有利于相关部门的监管，但仅仅监测了船舶轨迹信息，没有给出识别是否存在违规行为的信息检测。

而国外违规疏浚抛泥现象比较少见，但是国外对疏浚抛泥区的关注度也很高。文献[17]提到 Kilo Wharf 使用声学多普勒流速剖面仪（Acoustic Doppler Current Profilers, ADCP）衡量疏浚抛泥区周边泥沙浓度的变化，从而确定淤泥扩散情况。但 ADCP 的使用时间和空间有限，对大范围随机性的疏浚驳船违规行为监测并不适用。英国哈里奇港口管理局估算抛泥区每接近港口 1.609km，每年疏浚费用可减少 10 万英镑，为了降低该港口成本，向政府提出变更抛泥区的申请。虽然节省成本能够在一定程度上减少违规行为，但是抛泥区的变更需要考虑水深、海洋生态环境、动物栖息等因素，并不是容易的事^[2]。美国、加拿大、荷兰等国家

采用自然的方法，建立泥沙淤积模型，分析其主要成因，采取适当干预的手段（如水流冲刷等）让泥沙落入指定的区域^{[18][19]}。利用自然处理的方法对少量淤泥的情况较适用，且能够节省成本，保护生态环境，但是我国流域众多，模型适用性有限，对大量淤泥的作用较小。

总之，国内通过在船上安装各种监测设备的方法和远程设置终端监控的方法等，因受诸多因素干扰，且存在供电问题及因设备故障而发生灾害后定责问题，所以并不能提供较好的解决方案。国外提出变更疏浚抛泥区和自然处理的方案也存在一定局限性。因此，本文利用信号增强技术对抛泥弱信号进行前期处理，以此增大探测距离，同时采用特征抽取技术和分类识别技术对抛泥行为进行判别，提出一种非接触式检测系统。这种方案的优势在于：① 可以避免在船舶上安装复杂设备，减少船舶负担；② 可以结合现有的远程终端设备，在远程进行监控，减少人力物力输出；③ 可以将这个检测方案用于其它水下目标的识别探测，而不仅限于水下抛泥行为检测。

1.3 研究内容与论文结构

本文从港口疏浚抛泥的实际背景出发，根据非接触式检测的现实要求，提出了一种基于信号增强与特征提取的新型抛泥检测方法。通过建立抛泥及浅海水声信道模型对实际的场景进行了必要的建模和仿真分析，并在此基础上，研究了基于随机共振与时间反转镜的信号增强技术和基于希尔伯特-黄变换与稀疏表示的信号特征提取技术在疏浚抛泥检测中的应用。

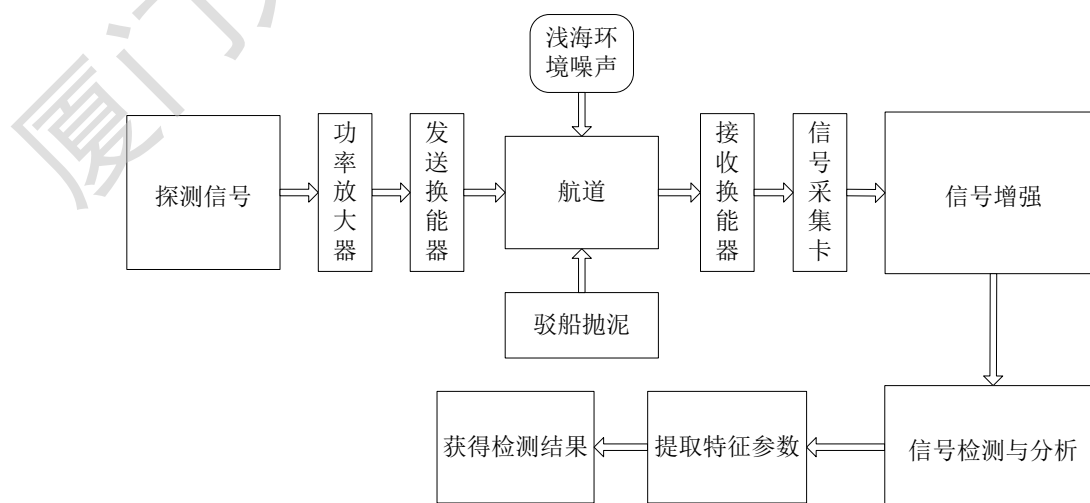


图 1-1 研究内容总体框架

本文各章节内容安排如下：

第 1 章主要介绍了论文的研究背景和意义，阐述了国内外对疏浚抛泥检测和监控方面的研究现状和进展，并给出了本文的整体内容框架。

第 2 章构建了港口疏浚抛泥及水声信道模型，主要包括浅海环境噪声模型、抛泥云团运动模型、混浊海水声吸收模型、浅海多径信道模型四个子模型，通过该模型可以模拟出抛泥探测信号（分为“无抛泥”和“抛泥”信号两类），用以进一步的分析。

第 3 章研究了随机共振和时间反转镜结合的信号增强技术对疏浚抛泥探测信号的作用。分别讨论了不同信噪比和不同多径情况下，随机共振和时间反转镜单独作用于信号的效果及两者组合之后的效果，并分析了组合顺序对信号增强效果的影响。

第 4 章将希尔伯特-黄变换中的经验模态分解改进为集合经验模态分解，从而解决模态混叠问题。并将改进后的希尔伯特黄变换和稀疏表示应用于抛泥探测信号的检测和分析。通过对增强后的抛泥探测信号进行时频域分析、边际谱分析和稀疏表示，提取五个特征参数。通过大量数据的仿真分析发现，采用这五个特征参数能够较好得区别“抛泥”和“无抛泥”的状态。

第 5 章总结与展望。

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.