

学校编码：10384 分类号密级

学号：23220121153037

分类号_____密级_____

UDC_____

廈門大學

硕士学位论文

潜艇控制系统的故障诊断与主动容错控制的集成设计

Integrated design of fault diagnosis and active fault-tolerant control for submarine control systems

王菲

指导教师姓名：余臻教授

专业名称：控制理论与控制工程

论文提交日期：2015 年月

论文答辩时间：2015 年月

学位授予日期：2015 年月

答辩委员会主席：

评阅人：

2015 年月

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

潜艇是展示国家军事实力的一个重要法宝，在现代和未来的海战中有着举足轻重的作用。软件漏洞问题、线路意外故障、人为恶意损毁、器件容易老化、操作有误以及外界不可避免的危害等原因都会导致潜艇控制系统发生故障。因此在考虑控制器的设计时必需将执行器故障因素考虑进去这样得到的控制器才能有效应对潜艇不可预知的故障情况。本文以潜艇垂直面运动模型作为研究的控制系统，提出了两种集成故障诊断与容错控制设计方案。其中，故障诊断技术中采用结合观测器与自适应参数跟踪的基于模型的故障诊断方法，在容错控制技术中采用的是解析容错控制下的主动容错控制。本文的研究成果如下：

首先，研究了故障诊断与自适应 H_∞ 状态反馈容错控制的集成设计方法。先设计一个未知干扰输入的状态观测器，然后对外界干扰输入和首尾舵故障进行解耦，解耦后得到仅含首尾舵故障参数的方程并得到相应的矩阵值，根据解耦结果选取适当的自适应跟踪律来完成首尾舵故障参数估计，最后再根据得到的首尾舵故障估计参数设计集成故障诊断和自适应 H_∞ 状态反馈容错控制的控制器。

其次，研究了故障诊断与自适应 H_∞ 动态输出反馈容错控制的集成设计方法。对未知干扰输入的观测器做了改进，保证了对外界干扰输入和首尾舵故障进行解耦后首尾舵的故障系数不为零，然后根据首尾舵故障参数设计了自适应律，进而设计了集成故障诊断和自适应 H_∞ 动态输出反馈容错控制的控制器。

最后，将上述的两种集成故障诊断与容错控制设计方案应用在潜艇垂直面运动模型上，仿真实验结果验证了这两种方法在潜艇的纵倾角控制和深度控制上的有效性。

关键词：潜艇控制系统；主动容错控制；故障诊断；潜艇纵倾和深度控制

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

Submarine is an important magic weapon to show the country's military strength. It is very important in naval warfare now on and in the future. Combined with software vulnerabilities, fault, artificial malicious damage, accidental device easy to aging, wrong operation and the outside world disasters, all of them will leads to submarine control system failure inevitably. Consequently, it is very necessary to take actuator fault factors into consideration while designing the controller so that the controller can effectively cope with unpredictable failure condition. In this paper, we propose two effective integrated design methods. Fault diagnosis technology base on the mode, combining with observer and adaptive parameter tracking law. And active fault tolerant control under the fault-tolerant control is adopted. The achievements are summarized as following:

Firstly, an integrated design of fault diagnosis and adaptive fault-tolerant H_∞ state feedback control scheme is studied. Considering the disturbance coming from waves when a submarine operates near sea surface, a simplified linear system of submarine's vertical movement with both wave disturbance and bow and stern plane faults is presented. An unknown input observer is designed to decouple the wave disturbance and the bow and stern plane faults. Then a fault parameter tracking law is designed to estimate the bow and stern plane fault parameters without any prior fault information. Based on the estimated fault parameters, an adaptive robust fault-tolerant controller is designed.

Secondly, an integrated design of fault diagnosis and adaptive fault-tolerant H_∞ dynamic output feedback control strategy is studied. The improved unknown input observer not only decouples wave disturbance and bow and stern plane faults, but also ensure to track all the bow and stern plane faults. Then a fault parameter tracking law is designed to estimate the bow and stern plane fault parameters. Then according to the adaptive law, a fault-tolerant adaptive H_∞ dynamic output feedback controller with fault diagnosis is designed.

Finally, the two integrated design methods are applied to the submarine vertical motion. And the effectiveness of the integrated design methods for submarine's pitch control

and depth control by the simulation results.

Key Words : Submarine control, Active fault-tolerant control, fault diagnosis, pitch and depth control

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目录

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| 摘要..... | I |
| Abstract..... | III |
| 第一章 绪论..... | 1 |
| 1.1 课题来源..... | 1 |
| 1.2 课题研究背景与意义..... | 1 |
| 1.3 国内外研究现状及分析..... | 3 |
| 1.3.1 潜艇控制系统的操纵性研究..... | 3 |
| 1.3.2 故障诊断方法的研究..... | 5 |
| 1.3.3 容错控制方法的研究..... | 7 |
| 1.3.4 潜艇的故障诊断与容错控制的集成设计方法的研究..... | 8 |
| 1.4 论文主要工作和章节安排..... | 9 |
| 1.4.1 论文主要工作..... | 9 |
| 1.4.2 论文的章节安排..... | 10 |
| 第二章 基本理论知识..... | 12 |
| 2.1 潜艇垂直面运动模型..... | 12 |
| 2.1.1 潜艇的操纵性分析..... | 12 |
| 2.1.2 潜艇近水面运动模型..... | 14 |
| 2.2 H_∞ 控制理论..... | 18 |
| 2.2.1 标准 H_∞ 控制问题..... | 18 |
| 2.2.2 状态反馈 H_∞ 控制..... | 20 |
| 2.2.3 输出反馈 H_∞ 控制..... | 20 |
| 2.3 自适应控制..... | 22 |
| 2.3.1 自适应控制导读..... | 22 |
| 2.3.2 一阶系统的自适应控制..... | 22 |

| | |
|--|----|
| 第三章潜艇控制系统的故障诊断与自适应 H_{∞} 状态反馈容错控制集成设计 | 25 |
| 3.1 引言 | 25 |
| 3.2 潜艇控制系统与故障模型 | 25 |
| 3.3 故障参数估计 | 27 |
| 3.4 自适应 H_{∞} 状态反馈控制器的设计 | 30 |
| 3.5 仿真结果 | 32 |
| 3.6 本章结语 | 40 |
| 第四章潜艇控制系统的故障诊断与自适应 H_{∞} 动态输出反馈容错控制集成设计 | 41 |
| 4.1 引言 | 41 |
| 4.2 潜艇控制系统与故障模型 | 41 |
| 4.3 故障参数估计 | 43 |
| 4.4 自适应 H_{∞} 动态输出反馈控制器的设计 | 47 |
| 4.5 仿真结果 | 51 |
| 4.6 本章结语 | 59 |
| 第五章总结与展望 | 60 |
| 参考文献 | 61 |
| 作者在攻读硕士期间发表的论文 | 64 |
| 致谢 | 65 |

Contents

| | |
|--|-----|
| Abstract(In Chinese) | I |
| Abstract(In English) | III |
| Chapter 1 Introduction..... | 1 |
| 1.1 Subject Sources | 1 |
| 1.2 Background and Significance | 1 |
| 1.3 Research Status and Analysis of Home and Abroad | 3 |
| 1.3.1 Submarine Maneuvering of the Control System Research | 3 |
| 1.3.2 Fault Diagnosis Methods of Research | 5 |
| 1.3.3 Study of Fault-tolerant Control Method | 7 |
| 1.3.4 Submarine Integrated Design Method of Fault Diagnosis and Fault-tolerant Control Research..... | 8 |
| 1.4 Main Work and Chapter Arrangement | 9 |
| 1.4.1 Main Work | 9 |
| 1.4.2 Chapter Arrangement | 10 |
| Chapter 2 Basic Theory of Knowledge | 12 |
| 2.1 Motion Model of Submarine's Vertical | 12 |
| 2.1.1 Analysis of Submarine Maneuvering..... | 12 |
| 2.1.2 Motion Model of Submarine Near Sea Surface | 14 |
| 2.2 H_∞ control theory | 18 |
| 2.2.1 Standar H_∞ Control | 18 |
| 2.2.2 State Feedback H_∞ Control..... | 20 |
| 2.2.3 Output Feedback H_∞ Control..... | 20 |
| 2.3 Adaptive Control | 22 |
| 2.3.1 Introduction to Adaptive Control..... | 22 |
| 2.3.2 First-order Adaptive Control System..... | 22 |

| | |
|--|----|
| Chapter 3 Integrated Design of Fault Diagnosis and Adaptive Fault-tolerant H_∞ | |
| State Feedback Control for Submarine System | 25 |
| 3.1 Introduction | 25 |
| 3.2 Submarine Control System and Fault model..... | 25 |
| 3.3 Fault Parameter Estimation | 27 |
| 3.4 Adaptive H_∞ State Feedback Fault-tolerant Controller Design | 30 |
| 3.5 Simulation Results | 32 |
| 3.6 Conclusion..... | 40 |
| Chapter 4 Integrated Design of Fault Diagnosis and Adaptive Fault-tolerant H_∞ | |
| Dynamic Output Feedback Control for Submarine System..... | 41 |
| 4.1 Introduction | 41 |
| 4.2 Submarine Control System and Fault Model | 41 |
| 4.3 Fault Parameter Estimation | 43 |
| 4.4 Adaptive H_∞ Dynamic Output Feedback Fault-tolerant Controller Design | 47 |
| 4.5 Simulation Results | 51 |
| 4.6 Conclusion..... | 59 |
| Chapter 5 Conclusion and Prospect..... | 60 |
| References | 61 |
| Papers published in the period of Master education | 64 |
| Acknowledgements | 65 |

第一章 绪论

1.1 课题来源

该课题来源于以下项目：国家自然科学基金项目“飞行器快速故障诊断与主动容错控制一体化设计方法研究”（61304110）、航空科学基金（20140768003）、潜艇舵机系统模拟装置项目。

1.2 课题研究背景与意义

大海是静的，沉睡了上千万年；大海是动的，横穿了风风雨雨；大海是柔的，宛如纤纤女人舞动的曲线；大海是刚的，宛如齐天大圣挥动的金箍棒。海洋不仅是人类构建最基本的生存环境必不可少的关键因素，同时也是推动社会进步的重要力量。随着经济的快速发展，目前的陆地资源已经处于指数下降路线，世界各国不得不将经济发展的重点逐步地向海洋迈进。他们开始将贪婪的魔爪伸向丰厚而诱人的海洋资源。于是，围绕抢夺海洋利益的争端愈演愈烈，海洋在世界各国的地位也日益提高并成为经济发展全球化的大趋势的一份子。

现在，美丽的海洋已演变为世界各国展示国家军事实力的重要武器。想要控制好国家的经济命脉，必须要控制好国家海航线并能从中获取合理的海洋资源。潜艇是展示国家军事实力的一个重要法宝，在现代和未来的海战中有着不可小觑的作用。近些年来，潜艇的各方面研发被世界各国置于非常重要的位置。最早研究潜艇的一些国家，如英国、法国、美国、德国、日本等也都还在不停地着手研发更加先进的潜艇。一些新兴的沿海国家如澳大利亚、韩国等也开始组建自己的国家潜艇部队，掀起了一股潜艇的采购与研发热潮。随着我国的综合实力愈来愈强，东南亚国家的危机感更是愈演愈烈，于是，他们也纷纷抓紧了对潜艇的采购与研发计划。因此，中国海岸线的领海争端问题应运而生并日趋严峻。让我们来纵观一下潜艇在海战中的发展史：美国南北战争时期，亨利号潜艇击沉北方联盟一艘最大的战舰，是海战历史上潜艇首次成功击沉战舰，为潜艇在海战史上打了响亮的一炮；第一次世界大战时期，德国 U-潜艇频频出击，承担起对敌的大

部分任务，重创了英国的海上交通线，扼住了英国海上经济命脉的喉咙，取得了第一次世界大战的胜利；第二次世界大战时期，德国又在潜艇的帮助下成功偷袭英国海军基地斯卡帕湾，使英国海军蒙受巨大损失。据统计在第一次世界大战中，参战潜艇 289 艘，击沉协约国商船 5906 艘，总计 1400 万吨，其中战舰 340 多艘。在第二次世界大战中，潜艇击沉各种运输船 5000 多艘，总计约 2000 万吨；击沉击伤各型军舰 380 多艘^[1]。世界各国的海战史实告诉我们，如果我们不着手大力发展国家的潜艇海上作战实力，那在未来的海战中将会出现不可设想的后果。

根据潜艇的动力来源，潜艇主要分为常规动力潜艇与核动力潜艇，两者都是优缺点并存。常规动力潜艇是以柴油机—蓄电池为动力来源的。它的优点是成本低，噪音小、成型快、隐蔽性强，突击力威武。缺点是速度低、易暴露身份和自卫能力不强。核潜艇是以核反应堆为动力来源的。核潜艇的优点是航速快、载容量大、续航能力强、隐蔽性高、自卫能力强等。与常规动力潜艇相比，缺点是造价成本高、对海洋环境污染严重。核潜艇的高价成本意味着只为少数经济实力雄厚的国家才有能力拥有核潜艇。

潜艇由于工作环境恶劣，与常规舰艇相比安全问题更加突出^[2]。潜艇在变化多端的大海里运行时，由于内部空间狭小，高噪声等较差的生活和工作条件导致艇员很难在长时间的航行过程中时刻保持高度集中的精神，进而有可能影响潜艇的正常运行。潜艇是一个由大量控制元件的大型控制系统，它集生活、运输、作战为一体，包含了成千上万台设备，而且组成单个设备的控制元件大多都是小批量生产，其可靠性是非常值得商榷的，加之设计不是十分恰当、软件漏洞问题、线路意外故障、人为恶意损毁、器件容易老化、操作有误以及外界不可避免的危害等原因都会导致潜艇控制系统发生故障。因此，“潜艇每时每刻都在受到发生故障的威胁”这样的说法一点也不为过。而当潜艇控制系统发生不在受控范围的故障时，将会给国家和人民带来不可设想的损失。潜艇面世后的历史史实表明，关于潜艇的灾难事故就像现在的飞机失联事故一样，发生频率虽低但每一次的发生都会轰动世界，因为每一次都会让数以百计甚至以千计的艇员因此长眠于海底。这对于国家和人民来说不仅带来了经济上的严重损失更带来了巨大的精神创伤。据相关数据统计，在近一百多年以来，如果不考虑战争引起的失事，各个国家的潜艇总共有四百多起的严重失事事件，其中因此沉没的潜艇多达 170 多艘，近三

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.