

Application of Intelligent Technique to Fin Stabilizers

智能技术在船舶 减摇鳍系统中的应用

金鸿章 王科俊 吉 明 编著

国防工业出版社

智能技术在
船舶减摇鳍系统中的应用
Application of Intelligent Technique
to Fin Stabilizers

金鸿章 王科俊 吉明

国防工业出版社

·北京·

·图书在版编目(CIP)数据

智能技术在船舶减摇鳍系统中的应用/金鸿章等编著.
北京:国防工业出版社,2003.1

ISBN 7-118-03009-0

I.智... II.金... III.人工智能-应用-船舶-
减摇鳍 IV.U664.7-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 081949 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 6 $\frac{1}{2}$ 163 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:20.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金 第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员 陈达植

顾问 黄 宁

主任委员 刘成海

副主任委员 王 峰 张涵信 张又栋

秘书长 张又栋

副秘书长 彭华良 蔡 镛

委员 于景元 王小谟 甘茂治 冯允成

(按姓名笔画排序) 刘世参 杨星豪 李德毅 吴有生

何新贵 佟玉民 宋家树 张立同

张鸿元 陈火旺 侯正明 常显奇

崔尔杰 韩祖南 舒长胜

前 言

船舶航行时,由于风浪等干扰的影响会产生各种摇荡运动,其中横摇运动对船舶的危害最大。它不仅会使航速降低、主机工况变坏、危及船舶航行安全,还会影响到舰载装备的使用,甚至使导弹、火炮等武备无法使用,舰载飞机无法起降等。

在长期实践中,人们一直致力于船舶减摇装置的研究。目前使用的减摇装置主要有以下几种:舳龙骨——在全航速下均具有一定的减摇能力;减摇水舱——分被动式和主动式两种,在船舶谐振区的减摇效果显著,一般用于中低航速条件下;减摇鳍——目前应用最多的主动式减摇装置之一,主要在中高航速条件下使用。目前,减摇鳍普遍采用传统 PID 控制器,但是由于舰船装载条件的复杂性及海洋环境的不确定性,只有在设定海况下才具有良好的减摇效果,而在其他海况、航向下减摇效果并不理想。这是一个长期困扰减摇鳍性能提高的难题,目前国内外研究人员都在致力于这个问题的解决,迄今尚没有有效办法。

当前以神经网络、遗传算法和模糊逻辑为代表的智能技术得到快速发展。特别是神经网络具有的自适应性、自学习能力、强鲁棒性以及信息的并行存储处理能力,使其在解决具有高度非线性、严重不确定性的复杂系统方面倍受关注。

由于风浪等干扰因素的影响,船舶横摇运动具有严重的非线性,因此构成的减摇鳍控制系统实际上是非线性系统,模型参数也受到诸多因素的影响。把神经网络等智能技术用于减摇鳍系统的控制,有望解决不确定性、非线性等因素对减摇鳍减摇效果的影响,提高减摇鳍在各种海情、航向下的减摇效果。

本书内容是作者研究智能技术在减摇鳍控制系统中的应用的

多年成果总结。全书内容分两大部分。第一部分介绍了智能技术在减摇鳍控制系统中的应用研究,其中第1章叙述了船舶横摇运动及减摇鳍控制系统的一般组成原理;第2章讨论了遗传算法在减摇鳍PID控制器参数优化设计中的应用;第3章和第4章讨论了神经网络技术在减摇鳍控制系统中的应用研究,并分析了减摇鳍单神经元控制器和在线监督控制器的设计;第5章讨论了几种模糊控制器在减摇鳍控制系统中的应用问题。第二部分介绍了减摇鳍故障诊断专家系统方面的研究成果,其中第6章主要叙述了减摇鳍故障诊断专家系统中知识的获取与表示及其具有层次结构的关系型知识库的建立;第7章从推理复杂度的角度,提出了减摇鳍故障诊断层次推理模型,讨论了具有模糊知识的层内、层间推理和相关系数的在线修正等问题;第8章讨论了模糊联想记忆网络和采用修正BP算法的h—水平截集模糊神经网络在减摇鳍故障诊断推理中的应用。

有关智能技术在减摇鳍系统中应用的著作目前在国内外尚不可见。减摇鳍系统具有许多不同于其他一般控制系统的特点,因此,这本专著的出版可以推进我国船用减摇装置及其他船舶控制系统控制技术的发展。

本书在完成过程中,得到了哈尔滨工程大学船舶减摇与控制技术研究所同事们的支持。该所30多年来在船舶减摇技术和减摇鳍装置方面的研究成果对本书的完成提供了许多研究内容。实际上,本书的许多内容是这些成果的继承和发展。同时,作者还参考了大量有益的文献。这些文献的内容对作者思路的开拓和研究的深入起到了帮助。另外,“国防科技图书出版基金”评委会也对本书提出了宝贵的修改意见,使书稿质量有了进一步的提高。在本书出版之际,作者对帮助本书完成的各方面人士表示感谢。

因作者水平有限,本书难免还有错误和不妥之处,恳请读者给予指正。

作者

目 录

第 1 章 减摇鳍控制系统分析	1
1.1 海浪的描述及仿真	1
1.1.1 海浪的基本特性与数学描述	1
1.1.2 海浪波能谱	2
1.1.3 海浪的数字仿真	4
1.2 船舶横摇运动的数学模型	5
1.3 减摇原理	6
1.3.1 横摇干扰力矩的产生	6
1.3.2 减摇鳍减摇原理	7
1.4 减摇鳍控制系统构成	8
第 2 章 遗传算法在减摇鳍 PID 控制器优化设计中的 应用	12
2.1 遗传算法	12
2.1.1 遗传算法的基本原理和特点	12
2.1.2 遗传算法的发展现状	13
2.2 减摇鳍控制规律	18
2.3 用于减摇鳍 PID 参数优化的改进型遗传算法	20
2.4 线性情况下遗传算法对减摇鳍系统 PID 参数的 优化	24
2.4.1 仿真实验	25
2.4.2 结果分析	31
2.5 非线性情况下遗传算法对减摇鳍控制系统 PID 参数的优化	31
2.5.1 减摇鳍系统的非线性因素	32

2.5.2 非线性情况下减摇鳍 PID 控制器参数空间的复杂性	33
2.5.3 非线性情况下基于遗传算法的 PID 参数优化	35
第 3 章 减摇鳍单神经元控制方法研究	44
3.1 单神经元控制系统	44
3.2 单神经元的学习策略	45
3.3 减摇鳍单神经元控制算法	45
3.4 减摇鳍系统单神经元控制的稳定性	48
3.5 减摇鳍神经元控制系统仿真	50
第 4 章 减摇鳍监督控制方法研究	72
4.1 基于神经网络逆动态模型的减摇鳍监督控制	72
4.2 逆动态模型的收敛性	75
4.3 NNFC 结构形式及在线训练算法的确定	78
4.4 减摇鳍监督控制系统仿真	80
第 5 章 减摇鳍模糊控制方法研究	101
5.1 减摇鳍基本模糊控制器的设计	101
5.2 基本模糊控制器的仿真	104
5.3 自组织模糊控制器	109
5.4 自组织模糊控制的仿真及其分析	111
5.5 参数自校正模糊控制器	112
5.6 参数自校正模糊控制器仿真	113
第 6 章 减摇鳍故障诊断专家系统的知识表示和知识库	119
6.1 减摇鳍系统的结构组成及故障特点	119
6.1.1 减摇鳍的结构组成	119
6.1.2 减摇鳍的故障特点	120
6.2 专家系统与减摇鳍故障诊断专家系统的功能组成	121
6.2.1 专家系统的结构及特点	121
6.2.2 减摇鳍故障诊断专家系统的功能及组成	123
6.3 减摇鳍故障诊断专家系统中知识表示及知识库建立	124

6.3.1	诊断知识的获取	124
6.3.2	知识库结构	126
6.3.3	知识的表示	128
6.3.4	减摇鳍故障诊断系统知识库模型的建立	132
第7章	减摇鳍故障诊断专家系统的推理方法及其实现	139
7.1	总体分层	139
7.1.1	问题的描述	139
7.1.2	专家解决问题的思维特点	140
7.1.3	总体分层	142
7.2	减摇鳍故障诊断层次推理模型	147
7.2.1	减摇鳍故障诊断问题的描述	147
7.2.2	模糊问题的处理	148
7.3	模糊知识的处理	149
7.3.1	减摇鳍知识的模糊性	149
7.3.2	模糊规则的抽象描述	150
7.3.3	减摇鳍故障诊断系统中模糊知识的处理	152
7.4	系统的诊断推理	153
7.4.1	层间诊断	153
7.4.2	模糊推理	154
7.5	故障率系数 $\lambda(t)$ 的修正	158
7.6	故障诊断的控制策略	159
7.6.1	正向推理	159
7.6.2	反向推理	160
7.6.3	混合推理	161
7.7	减摇鳍故障诊断专家系统推理机的实现	162
第8章	模糊神经网络在专家系统诊断推理中的应用	166
8.1	模糊技术与神经网络	166
8.2	模糊联想记忆神经网络	168
8.2.1	模糊联想记忆	168
8.2.2	模糊异联想存储器多模式对联想存储学习	

算法的优化	170
8.2.3 FAM 在减摇鳍故障诊断专家系统中的应用	175
8.3 h—水平截集的模糊神经网络	176
8.3.1 模糊规则的 h—水平截集	176
8.3.2 修正的 BP 算法	176
8.3.3 h—水平截集模糊神经网络在减摇鳍故障诊断 专家系统中的应用	183
参考文献	188

Contents

Chapter 1	Analysis of fin stabilizer systems	1
1.1	Description and simulation of sea waves	1
1.1.1	Basic characteristics and model of sea waves	1
1.1.2	Energy spectrum of sea waves	2
1.1.3	Digital simulation of sea waves	4
1.2	Model of ship roll motion	5
1.3	Principle of stabilized ship roll motion	6
1.3.1	Disturbance moment of ship roll motion	6
1.3.2	Stabilized roll motion principle of fin stabilizers	7
1.4	Structure of fin stabilizers	8
Chapter 2	Application of genetic algorithm to PID controller of fin stabilizers	12
2.1	Genetic algorithm	12
2.1.1	Principle and characteristics of genetic algorithm	12
2.1.2	Actualities on the genetic algorithm development	13
2.2	Control law of fin stabilizers	18
2.3	Improved genetic algorithm used to parameters optimization of fin stabilizer's PID controller	20
2.4	Parameters optimization of PID controller by using genetic algorithm on linear roll motion	24
2.4.1	Simulation experiments	25
2.4.2	Analysis of the simulation results	31
2.5	Genetic algorithm used to parameters optimization of PID controller on nonlinear roll motion	31

2.5.1	Nonlinear factors of fin stabilizers	32
2.5.2	Parameters space complexity of PID controller on nonlinear roll motion	33
2.5.3	Parameters optimization of PID controller by using genetic algorithm on nonlinear roll motion	35
Chapter 3 Study of single nerve center controller used in fin stabilizers		44
3.1	Single nerve center control system	44
3.2	Learning strategy of single nerve center	45
3.3	Single nerve center control algorithm used in fin stabilizers	45
3.4	Stability of the single nerver center control algorithm	48
3.5	Simulation of the single nerve center control algorithm	50
Chapter 4 Study of supervising control used in fin stabilizers		72
4.1	Supervising control of fin stabilizers basing on IDM	72
4.2	Convergence of IDM	75
4.3	NNFC structure and its on-line training algorithm	78
4.4	Simulation of supervising controller for fin stabilizers	80
Chapter 5 Study of fuzzy control applied to fin stabilizers ..		101
5.1	Design of fuzzy controller for fin stabilizers	101
5.2	Simulation of basic fuzzy controller	104
5.3	Adaptive fuzzy controller	109
5.4	Simulation of adaptive fuzzy controller	111
5.5	Parameters self-revised fuzzy controller	112
5.6	Simulation of parameters self-revised fuzzy controller	113
Chapter 6 Knowledge expression and knowledge base of FDESFS		119
6.1	Construction and fault characteristics of fin stabilizers	119
6.1.1	Construction of fin stabilizers	119

6.1.2	Fault characteristics of fin stabilizers	120
6.2	Construction of expert system and FDESFS	121
6.2.1	Structure and characteristics of expert systems	121
6.2.2	Function and construction of FDESFS	123
6.3	Expression of knowledge and construction of knowledge base on FDESFS	124
6.3.1	Acquisition of diagnosis knowledge	124
6.3.2	Structure of knowledge base	126
6.3.3	Expression of knowledge	128
6.3.4	Construction of knowledge model on FDESFS	132
Chapter 7	Principle and realization of reasoning on FDESFS	139
7.1	Delamination in the mass	139
7.1.1	Problem description	139
7.1.2	Thinking characteristics for experts to solve problems	140
7.1.3	Delamination in the mass	142
7.2	Hierarchy of fin stabilizer fault diagnosis	147
7.2.1	Description of fin stabilizer fault diagnosis	147
7.2.2	Solution of fuzzy problems	148
7.3	Solution of fuzzy knowledge	149
7.3.1	Fuzzy of fin stabilizer's knowledge	149
7.3.2	Abstract description of fuzzy rules	150
7.3.3	Solution of fuzzy knowledge on FDESFS	152
7.4	Diagnosis reasoning	153
7.4.1	Interbedded reasoning	153
7.4.2	Fuzzy reasoning	154
7.5	Revision for fault probability coefficient $\lambda(t)$	158
7.6	Strategy for fault diagnosis	159
7.6.1	Forward reasoning	159

7.6.2	Backward reasoning	160
7.6.3	Bi-ward reasoning	161
7.7	Realization of reasoning monitor on FDESFS	162
Chapter 8 Application of FNN to diagnosis reasoning		
	of expert system	166
8.1	Fuzzy technique and neural network	166
8.2	Fuzzy associative memory neural network	168
8.2.1	Fuzzy associative memory	168
8.2.2	Optimization of associative learning algorithm basing on multi-mode pairs of FDAM	170
8.2.3	Application of FAM to FDESFS	175
8.3	FNN with H-horizontal cut aggregate	176
8.3.1	H-horizontal cut aggregate of fuzzy rules	176
8.3.2	Revised BP algorithm	176
8.3.3	Application of FNN with H-horizontal cut aggregate to FDESFS	183
References		188

第 1 章 减摇鳍控制系统分析

1.1 海浪的描述及仿真

船舶在海上航行时产生的摇摆运动主要是由于海浪作用于船舶而引起的。海浪的大小及运动,就某种意义上来说是紊乱而不规则的,目前尚无法完全逼真地仿真出来。在研究减摇鳍控制系统之前,先对海浪的数字仿真加以讨论。

1.1.1 海浪的基本特性与数学描述

海浪是不规则的、随机的,不能用任何规则波来代替。但是根据海浪的统计规律性,可以用足够多个振幅、频率、方向、相位不同的简单正弦波叠加来代替。大量的实验观测显示,海浪的性质可概括如下:

① 充分发展的海浪是一个随机过程,且具有平稳的、各态历经的性质;

② 海浪的瞬时波面升高具有正态分布的统计特性,波幅服从瑞利分布;

③ 长峰波海浪可由足够多个相互独立、具有不同波长、波幅和随机相位的单元规则波叠加起来描述,即有:

$$\xi_t = \sum_{i=1}^N \xi_{ai} \cos(k_i + \omega_i t + \epsilon_i) \quad (1-1)$$

式中 N 是足够大的正整数; ϵ_i 是在 $(0, 2\pi)$ 上均匀分布的随机变量,概率密度为: