

大连海事大学第二届硕博论坛暨

研究生科技创新论文集

主编 孙培廷 徐久军 孙宏利 刘文永

大连海事大学出版社

大连海事大学第二届硕博论坛暨 研究生科技创新论文集

主编 孙培廷 徐久军 孙宏利 刘文永



大连海事大学出版社

© 孙培廷 徐久军 孙宏利 刘文永 2014

图书在版编目(CIP)数据

大连海事大学第二届硕博论坛暨研究生科技创新论文集 / 孙培廷等主编. — 大连: 大连海事大学出版社, 2014. 10

ISBN 978-7-5632-3095-2

I. ①大… II. ①孙… III. ①社会科学—文集②自然科学—文集 IV. ①Z427

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 240534 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路 1 号 邮政编码:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail:cbs@dmupress.com

大连住友彩色印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2014 年 10 月第 1 版 2014 年 10 月第 1 次印刷

幅面尺寸:210 mm×297 mm 印张:20

字数:644 千 印数:1~500 册

出版人:徐华东

责任编辑:李继凯 版式设计:星 树

封面设计:王 艳 责任校对:李明阳

ISBN 978-7-5632-3095-2 定价:80.00 元

序

学以致用,术业专攻。饱含墨香、凝聚心血的《大连海事大学第二届硕博论坛暨研究生科技创新论文集》正式出版了。这是继2013年《大连海事大学首届硕博论坛暨研究生科技创新论文集》出版后的又一智慧结晶。该论文集几乎涵盖了我校各院(系)研究生所有的专业领域,评选出来的61篇优秀论文收录其中。研究生生于斯时,长于斯境,于撰文中展现“研精致思,笃志务实”的学术品格,望此论文集成为我校研究生同学们相互交流、互教共学的新平台。

李克强总理曾对科技工作者提出希望:“要大力传承老一辈科学家献身科学、报效祖国的高尚品德,激励一代又一代青年在创新道路上勇往直前。”研究生作为我国科技事业前进发展的储备力量,应当肩负起推动科技创新的重任。蔡元培先生曾说:“大学为纯粹研究学问之机关。”研究生教育是注重积累、勇于创新的过程。近年来,我校采取了一系列措施,为高层次创新人才培养创造了良好的条件,此论文集的出版也必将有力推动我校研究生的科研发展和学术交流。多次翻看这些文章,我为研究生的创新精神所感动,对我校研究生的教育工作充满信心,同时,也深感责任重大。

交通运输部党组书记、部长杨传堂在大连海事大学干部大会上的讲话中指出,大连海事大学要始终坚持教学与科研并重的原则,把提高教学质量放在学校工作的中心地位,继续深化教学内容和人才培养方式改革,把实践能力和创新精神的培养贯穿到教学全过程。要确定人才培养质量意识,形成人才培养规格特色,也就是区别于其他大学的航运及相关人才质量标准,真正为交通运输行业、为社会培养出质量过硬的高素质人才。

我想借此论文集出版之际对同学们提出几点希望:第一,充分认识科技创新的重要性。“科技是国家强盛之基,创新是民族进步之魂。”创新之路布满荆棘,但只有不断经历考验、挫折、甚至失败,才能逼近我们最终的理想。第二,充分认识研究生在科技创新中所肩负的责任和使命。作为我国现代化建设的高层次人才,要勇挑重担,敢于追梦,即使遇到矛盾、困难和问题,也要不避让、不退缩,脚踏实地,开拓创新,成就辉煌。第三,珍惜宝贵的青春年华,坚持理想,厚积薄发,勇于探索,敢于突破,不断认识科技世界新领地,立志报效祖国,服务人民,为学校发展和我国经济建设做出应有的贡献。



2014年7月

目录

工学学科

在线极限学习机对于船舶横摇的实时预测	于超 张安然 丁法 杨宗默 宋天骄/3
一种减摇鳍模糊控制器设计	孙帅 葛贝贝 姜涛/9
硅胶/氯化钙复合吸附剂吸附性能实验研究	苑海超/16
船舶智能微网及柔性调控实验系统研究	潘嘉进 张勤进/23
CO ₂ 节流制冷机制冷性能的实验研究	孔清 季向赞 康春录/29
微通道中细薄膜区域的传热传质机理研究	卢晓伟/34
微流控芯片上油液磨粒电流检测	周航 王成法 刘嘉夫/40
船舶联合防污染系统的能效影响因素分析	季向赞 孔清 张浩 贾远明/44
基于材料特性的滚动轴承失效分析	孙贵鑫 彭宁宁/50
基于双向 DC/DC 的蓄电池充放电装置的研究和设计	郑光磊 张勤进 李永辉 /56
船舶动力定位海洋环境模型建立与仿真	王刚 蔺本浩 翁晶/63
新型永磁吸附爬壁机器人研究	翁晶 王刚 蔺本浩/69
蒸汽喷射器的 CFD 数值模拟及实验验证	康春录 孔清 姜曦 李彬彬/74
微通道内流体流动控制与调节的数值模拟研究	刘嘉夫 周航 王成法/79
基于时间序列的船舶主机排烟温度 GRNN 预测研究	张剑 邹永久 刘竹风/85
羟基法杀灭典型赤潮藻的研究	程超 陈操/91
一种高灵敏度的便携式荧光检测装置	宋文东 楚惠 宋有楠/95
伪随机序列在压缩感知测量矩阵中的应用	李静/100
船舶燃油净化仿真系统的软件设计	王诗文 姜仲昊 沈智鹏/107

海杂波多杂波分布模型的杂波检测方法	李耀通 李朝阳 郑蓉蓉/113
一种线结构光三维测量系统的运动机构标定技术研究	王奎/118
基于单目视觉轮廓法的三维重建	楚惠 宋有楠 宋文东/124
基于脉冲包络特征的雷达目标检测	李朝阳 李耀通 李阳/129
雷达数字视频的压缩传输	程凯 李阳 刘畅 郑蓉蓉/134
基于 FPGA 的数据采集和传输系统的设计	宋有楠 楚惠 宋文东/140
基于 Modbus 与 OPC 的供热信息网络的研究	蔡麒/146
H. 264 编码技术在雷达视频压缩中的应用	李阳 程凯 郑蓉蓉 李朝阳/151
企业合同管理系统的设计与研究	崔冬/157

管理学科

会计信息质量对企业发展能力的影响——基于财务视角	刘亚男/165
干散货船舶成本收益分析	范静 谭小芳 邵井丰/170
基于 G1 法的电力项目模糊综合评价	萧锦华 崔巍/175
能源加工转换的绿色风险研究	刘一星 崔巍 萧锦华 /180
大连市工业产业能源消费灰色关联分析	江鹤 崔巍/184
新型城镇化背景下大连市主导产业发展研究	郭军燕 崔巍 石玉淳 江鹤/188
结合 EVA 和 BSC 的电力公司业绩评价研究	石玉淳 崔巍 郭军燕/192
基于因子分析方法对大连市主导产业分析	李红霞 崔巍 江鹤 石玉淳/196
政府治理视角下的大学生就业问题研究	王潇悦/200
提高延长退休年龄的可行性——以调整产业结构为选择路径	池欢/205
我国海洋管理机构职权划分的改进研究	陈华燕/209
试论如何加强乡镇干部队伍建设——以辽宁省某县乡镇干部队伍现状调查为例	徐健/214

法学学科

美国 2012BIT 范本透明度规则的发展与启示	鞠天娇/221
船舶融资租赁合同纠纷下出租人的瑕疵担保责任	梁贇/225

新造船融资租赁出租人风险及应对研究——以船舶建造合同倒签为背景	王丹华/229
对《海商法》第四章关于迟延交付规定的立法思考	王威/233
扣押融资租赁船舶的可行性分析	许馨/238
外资并购中药企业视角下的国家安全审查制度	周沐雨/242
中国法下不可抗力条款研究	倪哲/246
浅析船舶物权变动模式	朱雪云/250
论中国国际商会在国际贸易争端解决中的作用	曹婧甜/254
《鹿特丹规则》视角下的我国承运人责任基础完善研究	张森/258
航次租船合同下实际承运人的认定——以“桐城”轮为例	张颐/262
船舶所有权归属问题研究——以一船数卖为视角	郑宇辉/266
海事赔偿责任限制与船舶优先权的冲突与适用	姜丽/270
论海事赔偿责任主体的内部关系——以船舶承租人为主	袁腓/274
《办理环境污染刑事案件适用法律若干问题的解释》有关问题辨析	檀畅/278
我国新型农村合作医疗制度存在的问题及解决对策	宋伟萍/282
毛泽东的保护农民利益思想及当代价值	毕亚慧/286

文学学科

汉语、日语、英语中谚语的对比分析	朱一歌/293
从日本 2013 年度流行语窥探日本社会	赵霖/298
中日情书称呼比较研究	周密/303
试析《六人行》的语言特色——基于语料库的研究	李洋/307

工
学
学
科





在线极限学习机对于船舶横摇的实时预测

于超^① 张安然^② 丁法^③ 杨宗默^④ 宋天骄^⑤

摘要:在线极限学习机是一种基于单隐层前馈网络改进的高效在线神经网络,适用于复杂非线性回归和分类。船舶横摇运动因受多种因素的影响而难以进行预测。本文应用在线极限学习机对船舶横摇进行实时预测,通过赤池信息量准则以及相关函数确定网络参数,提高神经网络的性能。通过“育鲲”轮的实船横摇数据的模拟实验,验证模型具有较好的预测效果。

关键词:船舶横摇运动;在线极限学习机;赤池信息量准则;实时预测

0 引言

船舶横摇运动是研究船舶运动的重要部分。许多船舶倾覆事故与船舶横摇有关系。船舶航行在海上,由于船舶自身特性以及风浪等环境因素的影响,使得船舶横摇运动带有很强的随机性和非线性,难以进行辨识和预测。神经网络对于处理复杂的非线性问题有着很好的效果。传统的神经网络往往需要大量的运算时间,因此难以应用在对于时间和速度要求较高的实际问题中。极限学习机是一种基于单隐层前馈网络的神经网络,不同于传统神经网络,极限学习机能够用相对较少的训练时间完成对于网络的训练,相对简单的结构和训练方法使其运算速度和运算效果优于传统神经网络。在线形式使其更加容易应用在对于船舶横摇运动的实时预测的问题上。

1 在线极限学习机的原理

极限学习机(Extreme Learning Machine)^[1]是基于单隐层前馈网络的神经网络算法。其主要思想是:输入层与隐藏层之间的权值参数,以及隐藏层上的偏置向量参数是一次训练的,不需要像其他基于梯度的学习算法的神经网络一样通过迭代反复调整。只需求解一个最小范数最小二乘问题,最终化归成求解一个矩阵的 Moore-Penrose 广义逆问题。因此,该算法具有训练参数少、速度非常快等优点。对于 ELM,只要隐含层结点数足够多,SLFN 就能在输入权随机赋值情况下逼近任何连续函数。但为了使 SLFN 具有良好的泛化性能,通常 $\tilde{N} \ll N$ 。当输入权以随机赋值的方式确定后,所得隐藏层矩阵 H 便是

① 于超,男,1990—,大连海事大学航海学院,交通运输工程,1120131039,15940850823。

② 张安然,男,1990—,大连海事大学航海学院,交通运输工程,1120131040,13889471643。

③ 丁法,男,1990—,大连海事大学航海学院,交通信息工程及控制,1120130004,13609857886。

④ 杨宗默,男,1989—,大连海事大学航海学院,交通运输工程,1120131035,15842492093。

⑤ 宋天骄,男,1988—,大连海事大学航海学院,交通信息工程及控制,1120120053,15325679898。



一个确定的矩阵,因此训练 SLFN 就转化为计算 $H\beta=T$ 的最小二乘解问题。

ELM 算法的基本过程为:

① 给定训练样本合集 N 个不同样本 (x_i, t_i) , 其中 $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}]^T \in R^n$, $t_i = [t_{i1}, t_{i2}, t_{i3}, \dots, t_{im}]^T \in R^m$, 激活函数 $g(x)$, 隐藏神经元数 \tilde{N} 。

② 指定任意 $w_i, b_i, i=1, 2, 3, \dots, \tilde{N}$ 。

③ 计算隐藏层输出矩阵 H 。

④ 计算输出层权值矩阵 $\beta=H \times T$ 。

对于在线模式下^[2], 当有新的输入时:

$$\left\| \begin{bmatrix} H_0 \\ H_1 \end{bmatrix} \omega - \begin{bmatrix} T_0 \\ T_1 \end{bmatrix} \right\| \quad (1)$$

新的权值将变为 $W_1 = W_0 + K_1^{-1} H_1^T (Y_1 - H_1 W_0)$, 其中 $K_1 = K_0 + H_1^T H_1$, $K_0 = H_0^T H_0$ 。

将其化为一般形式为:

$$M_{k+1} = M_k + M_k H_k^T (I_1 + H_{k+1} M_k H_k^T)^{-1} H_{k+1} M_k \quad (2)$$

$$W_{k+1} = W_k + M_{k+1} H_{k+1}^T (Y_{k+1} - H_{k+1} W_k) \quad (3)$$

其中 M 代表参数估计的协方差。

通过以上方式对于权值进行更新使其具有实时的学习能力。

2 船舶横摇运动方程

根据 Conolly 船舶横摇方程^[3], 船舶横摇可以描述为下面的公式:

$$I_{XX} \ddot{\varphi} + 2N\dot{\varphi} + D\overline{GM}\varphi = D\overline{GM}\alpha_m \sin\omega t \quad (4)$$

其中:

φ —— 船舶横摇角;

$\dot{\varphi}$ —— 横摇角速度;

$\ddot{\varphi}$ —— 横摇角加速度;

I_{XX} —— 船舶惯性力矩;

D —— 船舶排水量;

α_m —— 船舶横倾;

\overline{GM} —— 船舶横稳性高度。

将船舶衰减系数 v 和横摇固有频率 ω_φ 带入式中得到:

$$\begin{cases} v = \frac{N}{I_{XX}} \\ \omega_\varphi^2 = \frac{D\overline{GM}}{I_{XX}} \end{cases} \quad (5)$$

$$\ddot{\varphi} + 2v\dot{\varphi} + \omega_\varphi^2 \varphi = \omega_\varphi^2 \alpha_m \sin\omega t \quad (6)$$

在实际航行中, 因自然因素引起的船舶横摇的大小很难度量, 因此将式(6)中因波浪产生的横摇部分视为随机噪声考虑, 同时将船舶横摇衰减系数视为一个常数, 以简化方程。对于方程进行离散化处理, 取相等的时间间隔对于方程进行迭代, 将角速度和角加速度使用横摇角的形式表示, 并添加相应的待定系数, 得到下式:

$$\varphi_n = \alpha_1 \varphi_{n-1} + \alpha_2 \varphi_{n-2} + \alpha_3 \varphi_{n-3} + \dots + \alpha_t \varphi_{n-t} \quad (7)$$

进一步可以认为:

$$\varphi_n = f(\varphi_{n-1}, \varphi_{n-2}, \dots, \varphi_{n-t}) \quad (8)$$

上式说明, 船舶的横摇角是一个关于其自身的时间序列的函数, 这种关系的确定使得不同的数学方法可以很方便灵活地应用在船舶横摇运动预测中, 也使得神经网络等算法可以应用在对于横摇角的预测问题上。

3 OS-ELM 模型参数的选择

ELM 极限学习机结构相对简单所要求定的参数较少,所以选取合适的神经元数目以及输入向量结构对于网络能否得到较好的结果很重要。对于上述两个参数,使用 AIC 信息准则确定神经元数目,使用数据集自相关度确定网络的输入向量结构。

赤池信息量准则(Akaike Information Criterion)是评估统计模型的复杂度和衡量统计模型拟合优良性的一种标准。该方法提供了一种针对复杂系统在信息不完全的情况下评估模型好坏的评价方法,将其应用在神经网络中的公式为^[4,5]:

$$AIC = n\log(RSS/n) + 2k \tag{9}$$

其中 RSS 为拟合模型中的估计残差, n 是观察样品数目, k 是在网络中的参数的数目。在本文中,包含 500 个数据的样本被用于测试。图 1 显示每个神经元数目对应的 AIC 值的结果。可以看出 AIC 达到其最低值时,神经元数为 9。这样的网络的节点数目设置为 9。

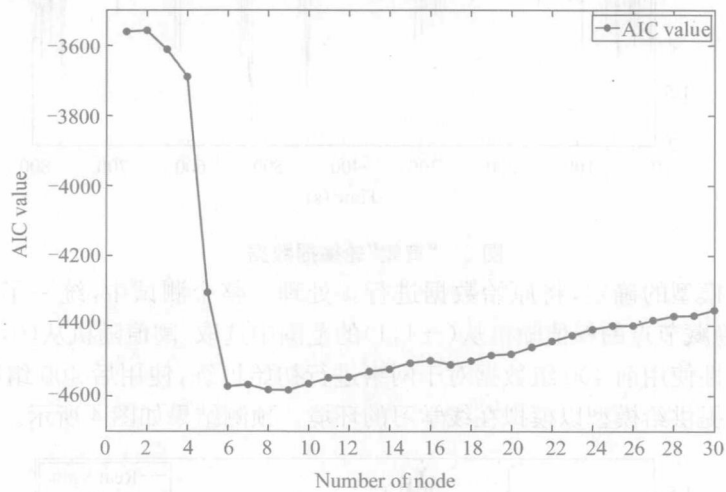


图 1 AIC 值

在对于模型输入数据的选取中,应用自相关系数对于船舶横摇数据依照其自身的时间序列进行自相关检验。检验结果如图 2 所示。

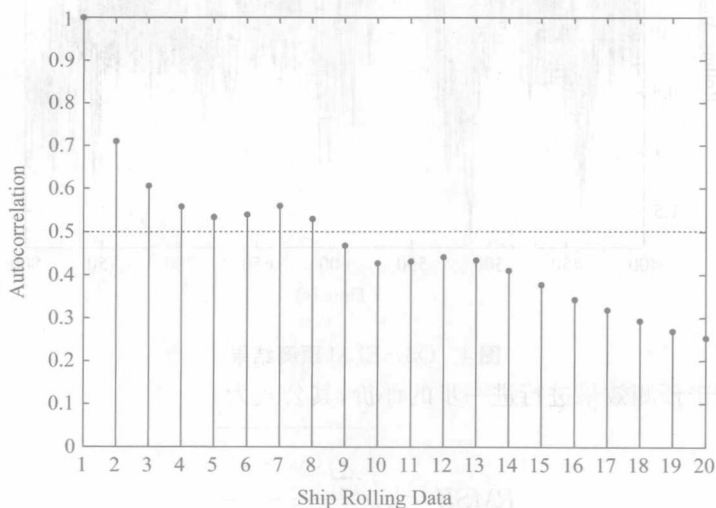


图 2 自相关图表

以自相关系数为 0.5 为标准对于进行数据的选取,可以得出,时刻 t 的横摇角与其前 7 个数据存在较强的相关性。因而选取 t_1 至 t_7 时刻的数据作为预测 t 时刻结果的模型输入量。



4 仿真实验及结果

本文的实验数据取自大连海事大学教学实习船“育鲲”轮,横摇数据由船载仪器 ADU2 记录。数据记录的为船舶在公海上航行时的横摇数据,记录间隔为 1 s,数据总量为 800 个,记录总时间为 14 min。数据如图 3 所示。

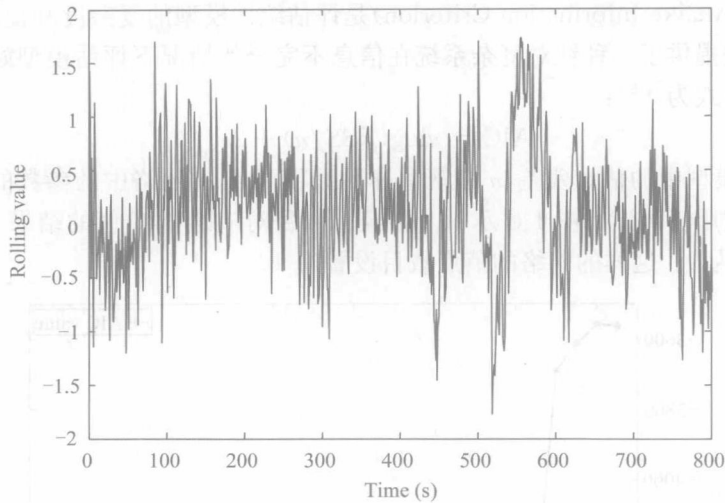


图 3 “育鲲”轮横摇数据

通过上文对于预测模型的确定,将原始数据进行预处理。整个测试中,统一了 ELM 网络的一些参数,连接的输入数据和隐藏节点的权值随机从(-1,1)的范围中选取,阈值随机从(0,1)选择,使用 sigmoid 函数作为核函数。一次性使用前 400 组数据对于网络进行初始训练,使用后 400 组数据进行测试。测试数据按时间间隔一组组提供给模型以模拟在线学习的环境。预测结果如图 4 所示。

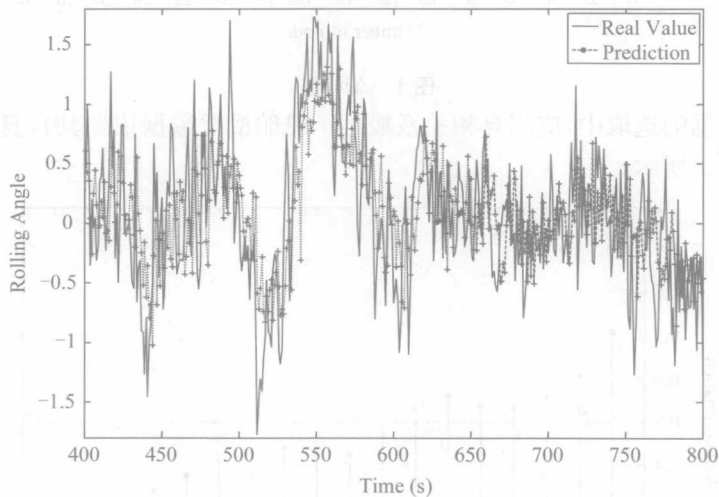


图 4 OS-ELM 预测结果

使用均方根误差对于预测效果进行进一步的评价,其公式为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^L (y - \tilde{y})^2}{L}} \quad (10)$$

其中:

L ——间隔;

$(y - \tilde{y})$ ——船舶横摇真实数据和预测模型估计之间的误差。

由于 OS-ELM 随机产生的输入权值和阈值,因此一个单步均方根误差的结果有比较大的随机性。为了更客观地呈现结果,整个过程的平均均方根误差值被表示为网络的性能。其平均误差为 0.3767。整个测试过程的 RMSE 值如图 5 所示。

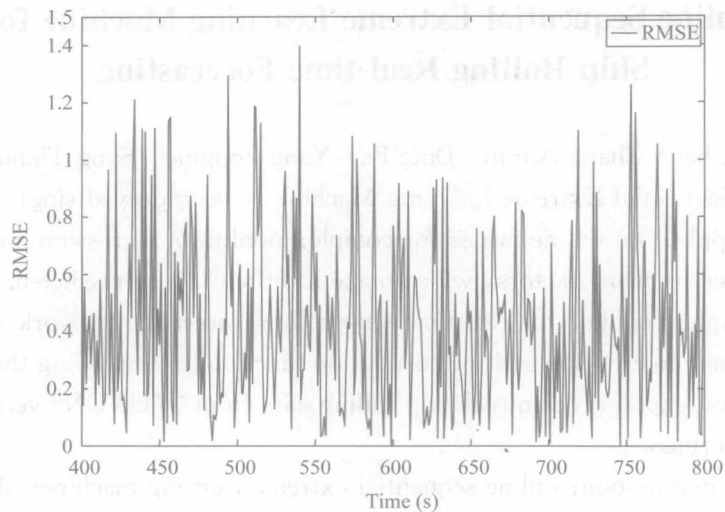


图 5 预测均方根误差

进一步研究,使用 OS-ELM 与其他一些传统的预测方法进行船舶横摇的预测,方法包括了自回归模型(Auto Regression Model)以及 BP 神经网络(Back-Propagation Neural Network)。为保证实验结果的可比性,对于 BP 网络,同样的训练和测试数据和节点相同数量的已被选定为以公平的方式进行比较的结果,对于自回归模型方法使用的历史数据积累来估计预测的经验公式。所有的方法都模拟为在线环境下一步预测。表 1 提供了一些修复结果的标准基准测试指标,用以比较不同方法之间的性能。

表 1 预测结果对比

预测方法	测试均方根误差	单步耗时(s)
OS-ELM	0.4172	0.00200
AR method	0.4550	0.05441
BP neural network	0.5397	0.04403

从表中可以看出 OS-ELM 神经网络在预测船舶横摇角上的优势,同其他对方法相比,在预测消耗的时间上,OS-ELM 算法的耗时极少,远快于两种传统的算法,同时对于横摇预测的精度上都要优于另外两种传统方法。

5 结论

本文将船舶横摇公式离散化,应用 OS-ELM 对于船舶横摇进行实时预测。从实验看出,OS-ELM 对于船舶横摇的实时预测有理想的精度,同时保证较短的时间消耗。赤池信息量准则以及相关性函数的使用对于网络参数的确定保证了网络有较好的性能。

参考文献

- [1]G. B. Huang, Q. Yu Zhu, C. K. Siew. Extreme Learning Machine: Theory and applications, Neurocomputing, 2006, 70: 489—501.
- [2]N. Y. Liang, G. B. Huang, P. Saratchandran, N. Sundararajan, A Fast and Accurate Online Sequential Learning Algorithm for Feedforward Networks, IEEE Tans on Neural Networks, 2006, 17(6): 1411—1423.
- [3]金鸿章,姚绪梁. 船舶控制原理. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2001.



- [4]尹建川, 邹早建, 徐锋. 一种基于 Akaike 信息准则的极限学习机. 济南: 山东大学学报, 2011, 41(6): 7-11.
- [5]K. P. Burnham, D. R Anderson. Multimodel inference: understanding AIC and BIC in Model Selection, Sociological Methods and Research, 2004, 33(2): 261-30.

Online Sequential Extreme Learning Machine for Ship Rolling Real-time Forecasting

Yu Chao Zhang Anran Ding Fa Yang Zongmo Song Tianjiao

Abstract: Online Sequential Extreme Learning Machine is an improved single hidden layer feedforward neural network applied on online issues for complex nonlinear regression and classification. Ship rolling motion is affected by many factors, which make it difficult to be predicted. In this paper, online extreme learning machine is applied for real-time ship rolling forecast. Network parameters are determined by Akaike information criterion and the correlation function for improving the performance of neural networks. Simulation experiment on real ship rolling data from "YUKUN" vessel validate the model has a good predict performance.

Keywords: ship rolling motion; online sequential extreme learning machine; akaike information criterion; real-time prediction

网络名称	均方误差	收敛时间
OS-ELM	0.0015	0.001s
ELM	0.0015	0.001s
OS-ELM	0.0015	0.001s

本文主要研究了船舶横摇实时预报问题。首先对船舶横摇运动进行了建模，然后利用在线序贯极值学习机对船舶横摇运动进行了实时预报。通过仿真实验验证了该模型具有良好的预报性能。

结论

本文主要研究了船舶横摇实时预报问题。首先对船舶横摇运动进行了建模，然后利用在线序贯极值学习机对船舶横摇运动进行了实时预报。通过仿真实验验证了该模型具有良好的预报性能。

参考文献

- [1] H. Huang, Q. Yu, K. Zhou. Extreme Learning Machine: Theory and Applications. Neurocomputing, 2006, 70: 489-501.
- [2] Y. Tian, H. Zhang, B. Zhang. Online Sequential Extreme Learning Machine for Real-time Forecasting of Ship Rolling Motion. Journal of Ship Mechanics, 2011, 15(1): 1-10.
- [3] K. P. Burnham, D. R. Anderson. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. Sociological Methods and Research, 2004, 33(2): 261-301.



一种减摇鳍模糊控制器设计

孙帅^① 葛贝贝^② 姜涛^③

摘要:为了减少横摇运动对船舶安全航行的影响,设计一种能提高实时响应的模糊控制器。采用三角形隶属函数、简化 Larsen 积运算规则和解析式模糊规则从而减少内存和计算时间。应用 MATLAB 中的模糊控制工具箱,模糊控制器在控制船舶减摇鳍方面取得令人满意的仿真效果。

关键词:减摇鳍;模糊控制;三角形隶属函数;简化 Larsen 积运算

0 引言

随着科学技术水平的提高,越来越多的船舶装备不同种类的船舶运动控制系统。船舶在海上航行,横摇运动会对船舶的安全带来隐患。与此同时,船舶在不同海况下周期性横摇也会造成乘客的极度不适。为了减少这些不利影响,U型减摇水舱和减摇鳍通常被应用在船舶上^[1]。然而减摇水舱因其体积较大、减摇效果不甚明显等因素逐渐被体积更小、减摇效率更高的减摇鳍所取代。

减摇鳍的减摇效果主要取决于其控制系统的控制算法。如今,大多数船舶采用成熟的 PID 控制^[2]。对于特定的船舶,PID 控制器可以产生良好的减摇效果,然而随着海况的变化以及船舶速度、船舶吃水和船舶载重量的不同,PID 控制器并不能主动地调节自身的参数以适应环境的变化。因此一些诸如模糊控制^[3]、神经网络控制^[4]等新的控制算法逐步被应用到船舶减摇鳍的控制系统中。本文从模糊控制出发,应用 MATLAB 中模糊控制工具箱,设计出一种船舶减摇鳍模糊控制器。

1 海浪和船舶横摇数学模型

1.1 海浪扰动建模

海浪是由海面持续运动的风所引起的。由于风的随机性和风向的多变性,风浪不但会向一个方向传播,而且还会向其他方向传播。常见的风浪波面像一个个大小形状不等的小丘。风浪起伏的高度可用一个三元函数来表示,称为“三元不规则波”,或者称“短峰波”。对于充分成长的风浪,在设计船舶运动控制系统时,经常作为一个平稳的随机过程处理。为了研究方便,不妨假设海浪是沿着一个固定方向传播,其波峰和波谷线彼此平行且垂直于前进方向,称为“二元不规则波”,或者称“长峰波”^[5]。本文主要以长峰波为研究对象。

① 孙帅,男,1991—,大连海事大学航海学院,交通信息工程及控制,1120130027,18941140116。

② 葛贝贝,男,1989—,大连海事大学航海学院,交通运输工程,1120131008。

③ 姜涛,男,1988—,大连海事大学航海学院,航海科学与技术,1120130052。



本文采用应用广泛的 P-M 海浪谱:

$$S_{\zeta}(\omega) = \frac{8.1 \times 10^{-3} g^2}{\omega^5} \exp[-0.74 (\frac{g}{\omega v})^4] \quad (1)$$

其中:

S_{ζ} —— 海浪频谱密度;

ω —— 海浪的频率;

v —— 海面上 19.5 m 处的平均风速。

P-M 谱有较充分的观察资料,分析方法也比较有效,所以它能很好地代表实际的充分成长的随机海浪谱,在海洋工程和船舶工程中得到了广泛的应用。根据以上海浪频谱的知识,我们可以模拟长峰波海浪的方程,即^[6]

$$\zeta(t) = \sum_{i=1}^{\infty} \sqrt{2S_{\zeta}(\omega_i) \Delta\omega} \cos(\omega_i t + \epsilon_i) \quad (2)$$

其中:

ζ —— 海浪高度;

ϵ —— $0 \sim 2\pi$ 间均匀分布的随机初始相位。

长峰波海浪如图 1 所示。

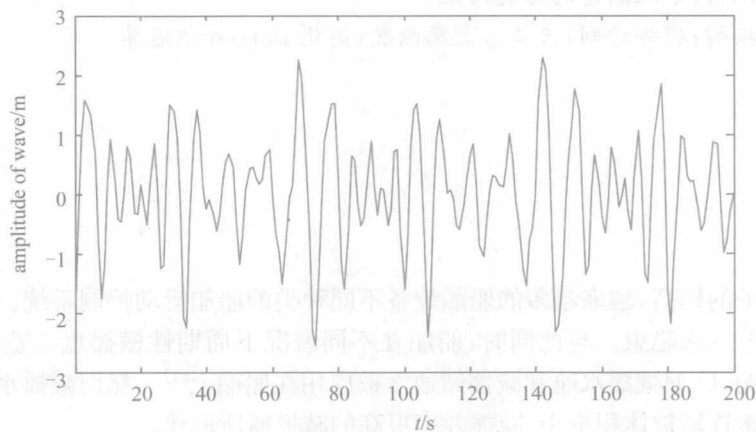


图 1 长峰波海浪高度仿真曲线

考虑海况、船舶形状和吃水的不同,波倾角 α 可由以下公式计算:

$$\alpha(t) = K_B K_T \frac{\omega_c^2}{g} \sum_{i=1}^N \sqrt{2S(\omega_i) \Delta\omega} \cos(\omega_c t + \epsilon_i) \sin\mu \quad (3)$$

其中:

K_B —— 船舶宽度的修正系数;

K_T —— 船舶吃水的修正系数;

μ —— 浪向角;

ω_c —— 船舶的遭遇角频率。

本文采用大连海事大学“育鲲”轮主要船舶参数,如表 1 所示。

表 1 “育鲲”轮主要船舶参数

总长	116 m	排水体积	5735.5 m ³	方形系数	0.7464
两柱间长	105 m	排水量	5878.8 t	水线面系数	0.5595
型深	8.35 m	设计吃水	5.4 m	减摇鳍面积	3 m ²
型宽	18 m	设计航速	16.9 kn	鳍升力系数斜率	3.1597

根据式(3),在不同的海况下,当船速为 16.9 kn,有义波高为 4 m,浪向角分别为 45°、90°、135°时,在 MATLAB 中的仿真如图 5 所示。