

# 基于船舶运动控制的 Matlab 仿真

邹蔚龙, 彭侠夫, 叶和龙

(厦门大学 信息科学与技术学院 自动化系, 福建 厦门 361005)

摘要: 在分析随机海浪的波能谱和船舶的受力情况的基础上, 建立随机海浪模型和船舶运动模型。用 PID 控制方法实现减摇鳍的控制。并用 Matlab 软件对海浪的波倾角和船舶的横摇角进行仿真。通过比较仿真结果发现, PID 控制减摇鳍能使船舶减摇达 90% 以上。结果表明, 该方法可以很好地用于随机海浪作用下的船舶横摇减摇预报。

关键词: 随机海浪; 船舶模型; 横摇角; 减摇鳍

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2008)02-0184-03

## Matlab Simulation Based on Ship Movement Control

ZOU Wei-long, PENG Xia-fu, YE He-long

(Department of Automation, College of Information & Technology, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: By analyzing the spectrum of the random ocean wave and of the force of the ship the ocean wave model and the ship movement model are erected. Use control theory of PID to carry out the control of fin stabilizer, and simulate the slope angle of ocean wave and angle of roll by Matlab software. Can find from the simulation result that PID control theory can reduction the roll by over 90 percents. The result shows that the theory can be used well in forecast of the ship roll reduction under the operation of random ocean wave.

Key words: random ocean wave; ship model; angle of roll; fin stabilizer

### 0 引言

船舶在航行中因受到海浪、海风及海流等海洋环境扰动的作用, 不可避免地产生横摇运动。剧烈的摇摆将对船舶产生一系列有害的影响。因此研究船舶在波浪上的航行性能和减摇方法变得越来越重要。

减摇鳍装置是减小船舶横摇最有效的减摇设备之一。通过控制鳍的运动, 可以使鳍产生对抗海浪的稳定力矩, 达到减小横摇的目的。减摇鳍装置控制系统的控制方法主要有 PID 控制、最优控制、自适应控制和模糊控制等。文中采用的是 PID 控制减摇鳍的方法。

### 1 海浪仿真模型

实际上海面上的风浪是极其不规则的, 每一个波的波高、波长、周期都是随机变化的, 为方便讨论, 假定不规则波是由许多不同波长、波幅和随机相位的单元波叠加而成的。因此不规则

则波的波高<sup>[1]</sup>可表示为:

$$\xi = \sum_{n=1}^{\infty} \xi_n(\omega_n) \cos(\omega_n t + \epsilon_n) \quad (1)$$

目前国内外广泛采用的 P-M 波能谱密度<sup>[2]</sup>:

$$S_{\xi}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp(-\frac{B}{\omega^4}) \quad (2)$$

其中:  $A = 8.1 \times 10^{-3}$ ,  $B = \frac{3.11}{\xi_{1/3}^2}$

用 Matlab 画出有义波高为 4m 风浪谱密度曲线如图 1 所示(横轴为  $\omega$ , 纵轴为  $S_{\xi}(\omega)$ )。

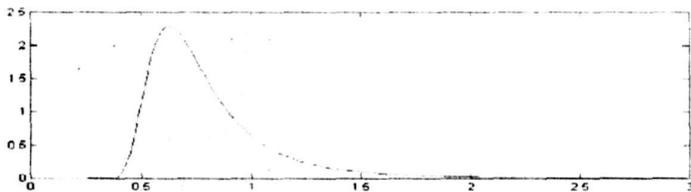


图 1 有义波高为 4m 时标准风浪谱密度图

由标准风浪谱密度图的大体走向趋势可以取  $0.4 \leq \omega \leq 1.6$ ,  $\Delta\omega = 0.05$ ,  $N = 25$ 。

因为,  $\xi_n(\omega_n) = \sqrt{2S_{\xi}(\omega_n) \Delta\omega_n}$

$$\text{所以, } \xi = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2S_{\xi}(\omega_n) \Delta\omega_n} \cos(\omega_n t + \epsilon_n) \quad (3)$$

又因  $\omega_n = (\frac{B}{\ln(N/n)})$ , ( $n = 1, \dots, N-1$ ),

收稿日期: 2007-05-15

基金项目: 国家 985 工程(0000-x07204)

作者简介: 邹蔚龙(1981-), 男, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 研究方向为船舶运动平台的稳定性控制; 彭侠夫, 教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为船舶运动综合控制技术。

$$S_{\xi}(\omega_n) \Delta\omega_n = \frac{A}{4NB}$$

$$\text{所以, } \xi(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{\frac{A}{2NB}} \cos(\omega_n t + \epsilon_n) \quad (4)$$

遭遇频率:  $\omega_e = \omega + \frac{\omega^2}{g} V \cos \beta$ , 其中  $\beta$  为航向角, 即海浪遭遇角。遭遇频率的海浪的波高仿真为:

$$\xi(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2S_{\xi}(\omega_n) \Delta\omega_n} \cos(\omega_{en} t + \epsilon_n) \quad (5)$$

海浪有效波倾角<sup>[3]</sup>的仿真公式为:  $\alpha_1 = \alpha_{e0} \sin \beta \sin(\omega_e t)$ , 式中  $\alpha_{e0}$  为海浪有效波

倾角的幅值。而  $\alpha_{e0} = K_B K_T \alpha_e = K_B K_T \frac{\omega^2 \xi}{g}$ ,

其中  $K_T, K_B$  为修正系数。文中所讨论的船舶, 水线面系数为  $C_W = 0.785$ , 棱形系数为  $C_p = 0.621$ 。修正系数<sup>[3]</sup>由下面两式表示:

$$K_T \left| \frac{T}{\lambda} \right| = 1.0 - 1.71 \left| \frac{T}{\lambda} \right| + 1.33 \left| \frac{T}{\lambda} \right|^2 - 0.38 \left| \frac{T}{\lambda} \right|^3$$

$$K_B \left| \frac{B}{\lambda} \right| = 1.0 + 0.05 \left| \frac{B}{\lambda} \right| - 1.06 \left| \frac{B}{\lambda} \right|^2 + 0.42 \left| \frac{B}{\lambda} \right|^3$$

令船宽  $B = 10\text{m}$ , 吃水  $T = 2\text{m}$ , 波长  $\lambda = \frac{2\pi g}{\omega^2}$ , 则修正系数分别为:

$$K_T(\omega) = 1 - 0.0833\omega + 0.0032\omega^2 - 4.4 \times 10^{-6}\omega^6$$

$$K_B(\omega) = 1 + 0.0049\omega - 0.0124\omega^4 + 0.0005\omega^6$$

在这些式子中, 其中三个参数是可调的: 有义波高  $\xi_{1/3}$ , 航速  $V$ , 海浪遭遇角  $\beta$ , 而随机相位  $\epsilon_n$  可以取 25 个随机的值。因此可以根据不同的实际要求, 灵活模仿船舶在海浪中遭受的各种行情和各种海况。用 Matlab 画出分别为  $45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$  时海浪曲线的仿真图, 如图 2 所示。

## 2 船舶运动模型

采用中国渔政 32 号船的参数如下(单位都采用数据给与的单位):  $D = 1100\text{t}$ ,  $T_\varphi = 8\text{s}$ ,  $h = 1.1012\text{m}$ ,  $2n_\varphi = 0.29$ ,  $V = 18\text{kn}$ , 水线面系数为  $C_W = 0.785$ , 棱形系数为  $C_p = 0.621$ 。

如果船舶的横摇角度较小, 按照 Conolly 理论, 船舶线性横摇可表示为<sup>[4]</sup>:

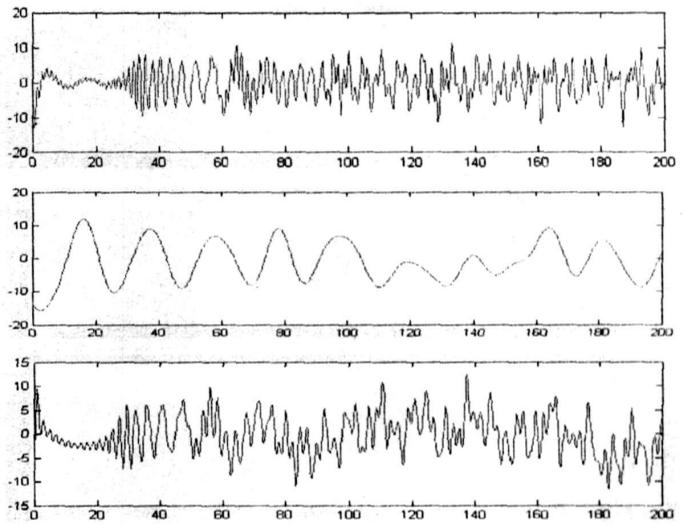


图 2 遭遇角分别为  $45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$  时的海浪曲线  
 $(I + \Delta I)\ddot{\varphi} + 2N_\varphi\dot{\varphi} + Dh\varphi = Dh\alpha \quad (6)$

作拉氏变换, 得船舶横摇的传递函数为:

$$\frac{\varphi(s)}{\alpha(s)} = \frac{1}{T_\varphi^2 S^2 + 2T_\varphi \xi_\varphi S + 1}$$

$$\text{其中, } \xi_\varphi = \frac{N_\varphi}{\sqrt{Dh(I + \Delta I)}}, T_\varphi = \sqrt{\frac{I + \Delta I}{Dh}}$$

由于固有频率  $T_\varphi = 2\pi \sqrt{(I + \Delta I)/Dh}$  已知, 于是可求出:

$$(I + \Delta I) = Dh \left( \frac{T_\varphi}{2\pi} \right)^2 = 17685583.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

所以, 横摇阻尼系数  $N_\varphi = (I + \Delta I)n_\varphi = 2564410.3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$

代入前面两式, 可求出  $\xi_\varphi, T_\varphi$ , 从而得到横摇角和波倾角之间的频域之间的关系:

$$\frac{\varphi(s)}{\alpha(s)} = \frac{1}{T_\varphi^2 S^2 + 2T_\varphi \xi_\varphi S + 1} = \frac{1}{1.62S^2 + 0.47S + 1}$$

频域到时域的转变: 根据上面的关系式, 运用拉普拉斯反变换以及卷积定理可得横摇角  $\phi(t)$ , 用 Matlab 画出无减摇鳍时横摇角随时间变化的曲线, 如图 3 所示。

## 3 减摇鳍系统传递函数的确定

减摇鳍系统是一个集机、电、液于一体的复杂系统, 利用鳍的水动力特性, 驱动鳍产生力矩对抗海浪的干扰力矩, 以达到船舶减摇的目的。原理图如图 4 所示。系统各部分的传递函数如下(文中设计中所采用的各元件和船舶的参数都选自采用 NJS 型减摇鳍<sup>[5]</sup>):

(1) 船舶运动方程:

$$W_c(s) = \frac{\varphi(s)}{\alpha(s)} = \frac{1}{1.62S^2 + 0.47S + 1}$$

(2) 角速度陀螺仪:

$$W_a(s) = \frac{0.1s}{0.00025s^2 + 0.02s + 1}$$

(3) 前置放大器:

$$W_Q(s) = K_Q = 0.25$$

(4)PID 控制器:

$$W_{PID}(s) = K_P + \frac{K_I}{T_I s + 1} + \frac{K_D T_{d1} s}{(T_{d1} s + 1)(T_{d2} s + 1)} =$$

$$K_P + \frac{K_I}{24.607s + 1} + \frac{0.064sK_D}{(0.064s + 1)(0.18s + 1)}$$

(5) 航速调节器和浪级调节器:

$$W_H = K_H = 1, W_L = K_L = 1$$

(6) 随动系统:

$$W_s(s) = \frac{500}{s^2 + 15s + 225}$$

(7) 鳍角到波倾角的转换系数:

$$W_q(s) = 0.22$$

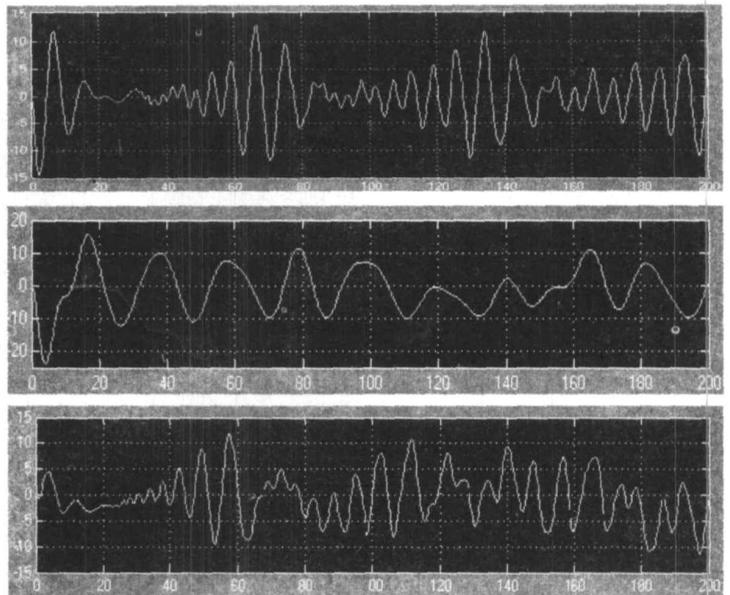


图 3 遭遇角分别为 45、90、135 度时未减摇船舶横摇角曲线

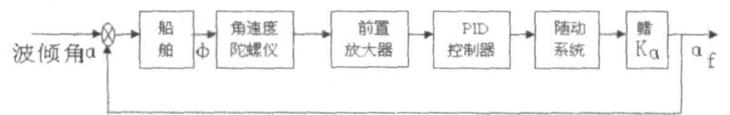


图 4 减摇鳍系统原理图

### 4 PID 控制系统的仿真图及仿真结果

图 5 中输入信号 In1 即为图 2 中的海浪波倾角信号。确定采样间隔为 0.1s, 仿真时间为 200s, 调整 PID 的三个参数和放大倍数的参数, 可以得到如图 6 所示的曲线。

### 5 结论

调整 PID 的三个参数分别为 3.5, 4.2 和 0.6, 放大倍数为 40。比较图 3 和图 6, 可以直观地看出 PID 控制减摇鳍的效果, 减摇倍数达到 90% 以上。有义波高  $\xi_{1/3}$ , 航速 V, 海浪遭遇角这三个参数是可调的, 因此可以根据不同的实际要求, 灵活模仿

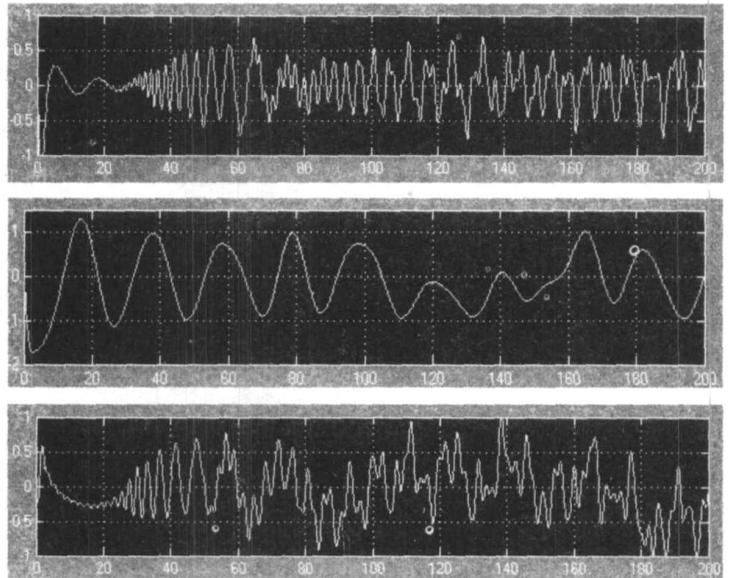


图 6 遭遇角分别为 45、90、135 度时 PID 控制船舶减摇横摇角曲线

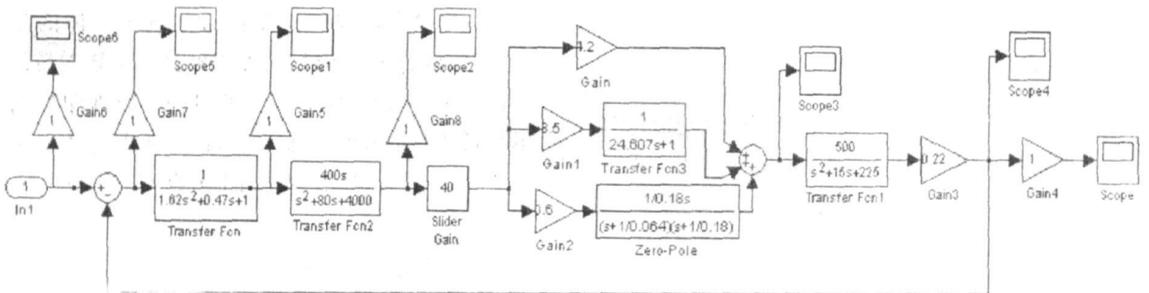


图 5 PID 控制仿真示意图

(下转第 190 页)

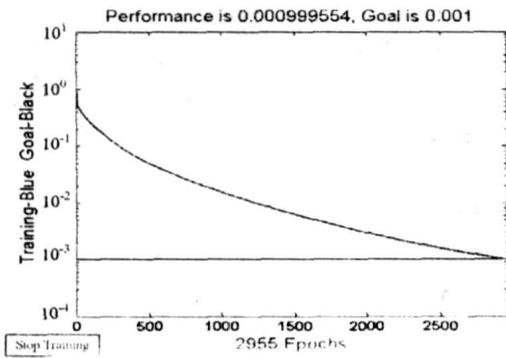


图 3 神经网络训练曲线

#### 4 系统开发: 利用 H-WIM 设计一个网页

据报道有七成中老年人想上网<sup>[14]</sup>, 而现在的 Internet 上针对老年人的网站却少之又少。设计一个适合特定范围内的老年人网站也是让老年朋友踊跃参与网络的趋势。现在, 就以年龄超过 50、学历中等、电脑熟练程度中等为用户因素, 基于建立的 H-WIM 模型, 设计了一个网页界面。用所设计的网页界面对 10 个人进行测试, 满意度为 90%, 收到较好的效果。

#### 5 结论

Web 作为现代社会的一种重要传媒工具, 除了它的内容外, 还有一个重要的决定性特性, 就是它的布局或外表<sup>[15]</sup>。文中从错综复杂的用户和网页界面因素中提取出两类起决定性作用的因素, 研究了两者之间的关系, 用神经网络的方法建立了一个用于个性化网站界面风格和布局设计的用户模型。经过实际验证, 此模型能收到良好的效果, 为提高用户对网站界面风格和布局的满意度、为实现 man-machine 的和谐化和人性化提供了一个理论性的指导。

#### 参考文献:

[1] Fuchs M. An Evolutionary Approach to Support Web-Page Design[C] // Evolutionary Computation, Proceedings of the 2000 Congress. La Jolla, CA, USA; [s. n.], 2002; 1312-1319.  
 [2] Cai Deng, He Xiaofei, Ma Wei-Ying, et al. Organizing

WWW Images Based on the Analysis of Page Layout and Web Link Structure[C] // The 2004 IEEE International Conference on Multimedia and EXPO. Taipei, Taiwan; [s. n.], 2004; 113-116.

[3] van Schaik P, Ling J. Design Parameters in Web Pages: Frame Location and Differential Background Contrast in Visual Search Performance[J]. International Journal of Cognitive Ergonomics, 2001, 5(4): 459-471.  
 [4] Gibson D, Punera K, Tomkins A. The Volume and Evolution of Web Page Templates[C] // Special interest tracks and posters of the 14th international conference on World Wide Web. New York, NY, USA; ACM Press, 2005; 830-840.  
 [5] Song Ruihua, Liu Haifeng, Wen Ji-Rong, et al. Learning Block Importance Models for Web Pages[C] // In: proceeding of the Thirteenth World Wide Web conference. New York, NY; ACM Press, 2004; 203-211.  
 [6] Kalbach J, Bosenick T. Web Page Layout: A Comparison Between Left- and Right-justified Site Navigation Menu[J]. Journal of Digital Information, 2003, 4(1): 153-159.  
 [7] Brown D C, Burbano E, Minski J, et al. Evaluating Web Page Color and Layout Adaptations[J]. Multimedia, IEEE, 2002, 9(1): 86-90.  
 [8] Zahed F, Van Pelt W V, Song J A. Conceptual Framework for International Web Design[J]. IEEE Transactions on Professional Communication, 2001, 44(2): 83-104.  
 [9] Chu W. Using chopsticks and a fork together: Challenges and strategies of developing a Chinese/English bilingual web site[J]. Tech. Commun., 1999, 46(2): 206-219.  
 [10] Jones M L R. Seven Golden Rules for World Wide Web Page Design[J]. IEE Colloquium on Interfaces, 1996, 126(3): 1-3.  
 [11] 朱天明, 朱琳. 设计色彩分类手册[M]. 上海: 东方出版中心, 2002; 220-257.  
 [12] Hagan M T, Demuth H B, Beale M H. 神经网络设计[M]. 戴葵等译. 北京: 机械工业出版社, 2005; 198-211.  
 [13] 董戒萍, 唐伯良. 基于 DCT-BP 神经网络的人脸表情识别[J]. 微计算机信息, 2005, 21(10): 142-144.  
 [14] 欧湘柏. 是什么阻碍了中老年人上网[EB/OL]. 2006-01-28. <http://wl.vip.oldkids.cn/wla06.htm>.  
 [15] 梁景红. 设计师谈网页设计思维[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.

(上接第 186 页)

船舶在海浪中遭受的各种行情和各种海况, 达到很好的预报效果。

#### 参考文献:

[1] 李殿璞. 船舶运动与建模[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1999.

[2] 王科俊. 海洋运动体控制原理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2005.  
 [3] 李积德. 船舶的耐波性[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996.  
 [4] 金鸿章, 李国斌. 船舶特种装置控制系统[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.  
 [5] 金鸿章, 谷云彪, 汪滨琦, 等. 减摇鳍变参数 PID 控制器的设计[J]. 船舶工程, 1994(4): 55-59.