

一种随机海洋波模型及其数字仿真*

李相迎 周红建 王正志

(国防科技大学自动控制系 长沙 410073)

摘要 介绍了一种随机海洋波谱模型,分析了波谱模型中的波幅计算的三种频率谱函数。针对不同海风条件(风速和风向),对模型进行了仿真和比较。数字仿真结果表明:该模型较好地反映了随机海洋表面的动力学特性,运用该模型可以得到随机变化海浪的逼真的仿真图像

关键词 海洋波谱模型, 计算机仿真

分类号 TP 391. 91

A Random Sea State Model and Numerical Simulation

Li Xiangying Zhou Hongjian Wang Zhengzhi

(Department of Automatic Control, NU DT, Changsha, 410073)

Abstract It's helpful for extracting sea information to research into the random sea wave spectrum. In the paper, we describe a random sea state model and analyze three kinds of frequency spectrum function which are used to calculate wave amplitude in the model. Under different sea wind conditions (e. g. speed and direction of the wind), simulation and comparison are made to test the model. The result of the simulation shows that the model has a good reflection of hydrodynamic feature of the random sea state and that we can use it to get a nice spatial realization of the random sea state.

Key words sea spectrum model, numerical simulation

海洋遥感是遥感领域中的一个重要的分支,它是我们获取海洋信息资源的一个重要手段。海洋信息提取和海洋监测对于我们国民经济建设和军事应用都有着很重要的意义。目前,卫星遥感领域能够获取的遥感信息资源很多,着手随机海洋波谱模型的研究对我们从卫星图片中提取相关的海洋信息有着很重要的参考价值。我们正是基于这种认识,开展了这项工作。

1 简介

在许多海洋工程应用中,根据实验结果得到的或解析的海洋波谱函数,仿真得到在不同的状态下的随机海洋波是很有用处的。这种基于二维的空间实现可以用来模拟远离海岸的海洋波高程,也可以用来模拟波浪与海流或舰船航迹(舰船产生的 Kelvin 波、湍流、内波)的相互作用。对于随机海洋波的仿真计算,通常是对给定能量谱的正弦分量进行多重求和,该方法简单易行。

本文阐述了海洋波仿真的实现方法和随机海洋波产生的理论。实现方法所需的参数较少,并在视觉上和统计意义上对随机海洋面状态达到了较好的近似。

2 数学模型

对随机变化的海洋表面状态计算主要是基于对波数 k 、波频率 ω 波传播方向 θ 的多重求和表达式。如果忽略波相互作用的非线性因素,可得到下述计算波高的表达式:

* 1998年5月27日收稿

第一作者: 李相迎, 男, 1970年生, 硕士生

$$\eta(x, y) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M A_{ij} \cos[k_i(x \cos\theta + z \sin\theta) + \phi_{ij}] \tag{1}$$

其中, x 和 y 分别表示平行和垂直于主导波传播方向的坐标, A_{ij} 为第 (i, j) 个波的幅度, θ 为相对于 x 轴的波传播方向, $k_i = \omega^2/g$ 为深水波数, ϕ_{ij} 为分布在 θ 至 2π 之间的随机相位角, A_{ij} 表达式为:

$$A_{ij} = \sqrt{2S(\omega, \theta) \Delta\omega \Delta\theta} \tag{2}$$

其中, $S(\omega, \theta)$ 为波能量谱函数, $\Delta\omega$ 与 $\Delta\theta$ 为 ω 与 θ 的增量。在当前计算中, 能量谱函数是以能量的形式给出的, 这与 (1) 和 (2) 的表达式是一致的, 通常假设有如下的分离形式:

$$S(\omega, \theta) = S_\omega(\omega) G(\theta) \tag{3}$$

其中, $S_\omega(\omega)$ 为频率谱函数, $G(\theta)$ 为扩散函数, 并满足如下方程:

$$\int_{-\pi}^{\pi} G(\theta) d\theta = 1 \tag{4}$$

常用的有三种频率谱函数: Pierson-Moscowitz 谱、Jonswap 谱和 Neumann 谱^[1-3]。另外还有一种频率谱函数-Bretschneider 谱, 它是第一种谱函数的子集。其中前面两种作为风速的函数相对于第三种光谱来说, 更适合于描述完整意义上的海面状态。上述前三种光谱可以统一写成如下形式:

$$S_\omega = \frac{A}{\omega^m} e^{-(B/\omega^\delta)} \cdot 3 \cdot 3^q \tag{5}$$

其中, 3.3 为平均增强因子, 对于每种光谱类型其它参数的取值在下表给出。表1中的 $\omega = 0.8771632 (G/U)$, 为峰值频率, 并且 $\delta = 0.07 (\omega < \omega)$; $\delta = 0.09 (\omega > \omega)$;

表1 三种频率谱函数的参数表

Tab.1 Arguments for three wave spectrum

	Pierson-moscowitz	Jonswap	Neumann
A	0.0081 * G * * 2	0.0081 * G * * 2	33.1 * π / 4
B	0.74 * G * * 4 / U * * 4	0.74 * G * * 4 / U * * 4	2 * G * * 2 / U * * 2
m	5	5	6
n	4	4	2
q	0	$e^{-[1 - \omega - \omega] ^ 2 / (2\delta^2 \omega_0^2)}$	0

这三种频率谱既有相似点, 也有不同点。Pierson-Moscowitz 谱与 Jonswap 谱很相似, 只是在峰值频率 ω 处 Jonswap 谱的谱线更陡; Neumann 谱与其他两种谱的区别主要在于 m 和 n 的取值不同。

扩散函数 $G(\theta)$ 可以有几种形式, 其中应用较多而又简单精确的一种为余弦平方函数:

$$G(\theta) = \frac{2v}{\pi} \cos^2 v \theta, \theta < \frac{\pi}{2v} \tag{6}$$

v 是决定风力扩散张角的因子, 一般情况下取 $v = 1$ 。此时, 假设风产生的海面波在沿风向 ± 90 范围内传播。 $v = 3/2$ 和 $v = 3/4$ 分别对应于张角为 ± 60 和 ± 120 的情况。

3 仿真计算及结果

频谱函数和扩散函数用来计算幅值因子 A_{ij} , 如 (2) 式所示。对于 (1) 式中的坐标 x 与 y 的值可以用一个覆盖海面的网格得到, 这样, 通过 (1)、(2)、(5) 和 (6) 式, 可解出海面网格每一点高程。限于篇幅, 这里只给出了三种谱在风速为 $v = 5m/s$ 、风向为 $d = 45$ 的仿真结果, 其它可类似得到。

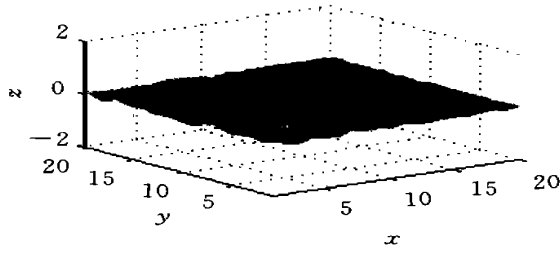
表2和表3给出三种谱在不同条件 (风速为5、15m/s 及风向为45°、90°) 最大波高分布情况。

由上表可以看到, 风速的变化对波高的影响是很大的。从理论上讲, 波高的分布服从瑞利分布, 右图为本模拟结果与瑞利分布的比较 (Neumann 谱, 风速5m/s), 从图中看出, 两者基本吻合。

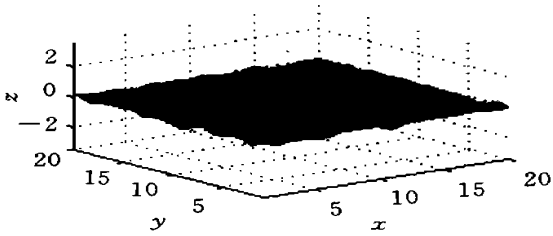
从以上的实验结果可以看出, 利用海浪谱来模拟得到一个人为的海浪是能够得到相当满意的结果的, 因此这种方法作为一个研究海浪的手段已日益广泛地被人们所采用。

4 结论

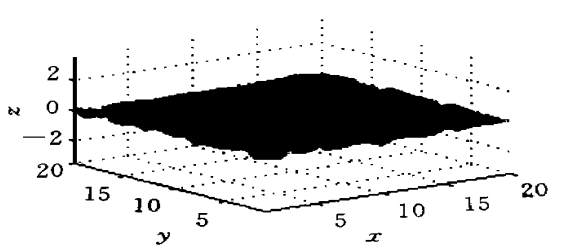
本文介绍了一种随机海洋波谱模型, 分析了波谱模型中的波幅计算的三种频率谱函数。从仿真结果



(a) Neumann 谱



(b) Jonswap 谱



(c) Pierson-Moscowitz 谱

图1 三种谱的仿真结果 ($v = 5m/s, d = 45^\circ$)

Fig.1 Simulation results of three wave spectrum ($v = 5m/s, d = 45^\circ$)

来看, 上述模型不失为随机海洋波谱的一种良好的近似模型, 它对进一步研究随机海面的特性和海洋信息提取有重要的参考价值。同时, 本文给出的模型只是对随机海面状态的一种近似, 而实际上影响海面状态的因素是非常复杂的, 其动力学特性还有待于进一步的研究。

表2 不同条件下的最大波高分布 (45°)

Tab.2 Distributon of maximal wave height under various conditions (45°)

	P-M 谱	Neumann 谱	Jonswap 谱
5m/s	0. 7223	0. 3434	0. 7345
15m/s	3. 9979	3. 6026	4. 1370

表3 不同条件下的最大波高分布 (90°)

Tab.3 Distribution of maximal wave height under various conditions (90°)

	P-M 谱	Neumann 谱	Jonswap 谱
5m/s	0. 6932	0. 3623	0. 7056
15m/s	3. 6877	3. 6334	4. 2173

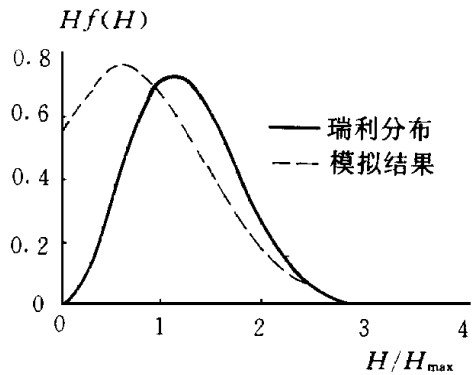


图2 瑞利分布与模拟结果的比较

Fig.2 Comparison of Rayleigh distribution and simulation results

参考文献

- 1 Kinsman B. Wind waves. Prentice-Hall Inc., 1965, Engwood cliffs, New Jersey, USA
- 2 Sarpkaya T, Isaacson M. Mechanics of wave Forces on Offshore structure. Van Nostrand Reinhold Co., 1981, New York, USA
- 3 Wang H T. Temporal and Spatial Simulation of Random Ocean Wave. Fourth Int. Offshore Mechanics and Arctic Engineering Symposium, Dallas, Texas, 1985, 72 ~ 80
- 4 Wang H T, Keramidas G A. Computer Model for the Calculation of the Kelvin spectrum with Viscous. Corrections CADMO86 conference, 1986, Washington, D. C., USA