

文章编号:1006-2475(2008)06-0085-02

# 三维海面计算机仿真

王艳娥

(北京联合大学,北京100101)

**摘要:**为海洋微波遥感器提供预研阶段的海面仿真数据,本文首先从经验的涌浪谱和风浪谱出发,利用傅立叶变换仿真了三维海面。结果表明,用这种方法可以模拟真实的海面。

**关键词:**海面仿真;海浪谱;傅立叶变换

中图分类号:TP301.6 文献标识码:A

## Computer Simulation of Three Dimension Sea Surface

WANG Yan-e

(Beijing Union University, Beijing 100101, China)

**Abstract:** This paper provides sea surface simulation data for microwave remote sensing instrument, which on the phase of pre-view-study. First, empirical swell wave spectrum, wind wave spectrum and Fourier transform method are used to simulation 3-D sea surface. The result indicates that this method can be used to simulate real sea surface.

**Key words:** sea surface simulation; sea wave spectrum; Fourier transform method

## 0 引言

自上个世纪中期以来,随着海洋科学、计算机科学发展,人们对海洋的研究日益深入。在此期间,微波遥感正日益成为海洋研究的主要观测手段,新的微波遥感器不断问世。一般来讲,海洋遥感器研制的周期较长,投入也比较大,因此,需要在正式研制之前进行系统仿真研究,被观测目标即海面的仿真便成为其中一个重要的问题。到目前为止,有两种手段可以提供海面的仿真数据。一种方法是以前一些海洋学家经常使用的物理模拟方法,利用风浪槽通过人造风或者使用造波机通过机械造波来生成仿真的海浪,然后使用天线测量其电磁散射系数。这种方法费用高,周期长,在遥感器的仿真领域基本上没有使用。另外一种方法是利用海洋学上发展出来的一些经验性质的海浪谱,使用计算机进行软件仿真海面,同时仿真其电磁散射特性。这种方法具有费用低,周期短,而且可以方便地模拟各种海况的优点,因此,日益受到重视并正被日益广泛地使用。

目前国内在计算机仿真海面上,大多集中于海浪

的仿真研究和海面场景或者说视觉仿真方面,比如文献[1-3]等注重于海浪的海洋动力学研究,文献[4-6]等则注重于海面的视觉仿真研究。这些研究由于各自的需要,大多只使用风浪谱进行海面仿真研究。在真实海况的仿真方面,目前尚没有报道。在国外,曾经有文献如[7-8]等在研究遥感器问题时顺带做过一些简单的报道。

海浪的成份主要可以分为涌浪和风浪。风浪的波谱相对比较宽,但是能量相对来说比较小;而涌浪的波谱很窄,但是能量很大,对海洋学和海洋工程具有重要意义。因此,本文在仿真真实海面时,使用涌浪谱和风浪谱共同构成的海浪谱。

## 1 海浪谱模型

海洋学家提出了很多波谱模型用来描述海面风浪,其中 Donelan 和 Pieson<sup>[10]</sup>提出的风浪波谱模型得到了广泛的应用。该模型使用相对于风向的波数和波向作为参数,给出了海洋表面高度的二维功率密度函数。该模型描述如下:

收稿日期:2007-05-21

作者简介:王艳娥(1978-),女,河北唐山人,北京联合大学讲师,硕士,研究方向:计算机应用。

$$\psi_{wind}(k, x) = 1.62 \times 10^{-3} W \exp(-k_p^2/k^2) \cdot \\ 1.7^{F(w,k)} h(k/k_p) \operatorname{sech}^2[h(k/k_p)(x - \bar{x})] \quad (1)$$

其中

$$F(W, k) = \exp\{-1.22[(k/k_p)^{0.5} - 1]^2\}$$

$$k_p = g/(1.2W)^2$$

$$h(k/k_p) = \begin{cases} 1.24 & 0 < k/k_p < 0.3 \\ 2.61(k/k_p)^{0.65} & 0.31 < k/k_p < 0.9 \\ 2.28(k/k_p)^{-0.65} & 0.9 < k/k_p \end{cases}$$

其中  $k$  和  $x$  表示极坐标下的海浪波长对应的波数和极角,  $W$  表示海面上 10m 高处风速,  $\bar{x}$  表示风向相对于遥感器航向的夹角,  $g$  表示本地重力加速度。

根据海洋观测结果, 经验性质的涌浪谱表达为高斯形式<sup>[9]</sup>:

$$\psi_{swell}(k_x, k_y) = \frac{\langle h^2 \rangle}{2\pi\sigma_{k_x}\sigma_{k_y}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\left(\frac{k_x - k_{xm}}{\sigma_{k_x}}\right)^2 + \left(\frac{k_y - k_{ym}}{\sigma_{k_y}}\right)^2\right]\right\} \quad (2)$$

其中  $k_x$  和  $k_y$  分别表示  $x$  方向和  $y$  方向的波数,  $k_{xm}$  和  $k_{ym}$  分别表示波谱峰值对应的波数,  $\sigma_{k_x}$  和  $\sigma_{k_y}$  分别表示  $x$  方向和  $y$  方向的波谱宽度,  $\langle h^2 \rangle$  表示涌浪波高。

总的海洋波谱由风浪谱和涌浪谱构成, 即:

$$\psi(k_x, k_y) = \psi_{swell}(k_x, k_y) + \psi_{wind}(k_x, k_y) \quad (3)$$

考虑到海面随机现象, 海洋波谱可以描述为:

$$S(k_x, k_y) = 2\pi \sqrt{2N_x N_y} \psi(k_x, k_y) / \Delta_x \Delta_y \eta(k_x, k_y) \exp[j\varphi(k_x, k_y)] \quad (4)$$

其中  $\Delta_x$  和  $\Delta_y$  分别为  $x$  方向和  $y$  方向的面元尺寸,  $N_x$  和  $N_y$  分别为  $x$  方向和  $y$  方向的面元数目,  $\eta(k_x, k_y)$  符合均方值为 1 的瑞利分布,  $\varphi(k_x, k_y)$  在  $[0, 2\pi]$  上均匀分布。

## 2 仿真结果

具体的仿真步骤为:

(1) 确定需要仿真的海况和海域面积, 并将海面划分成大小为  $\Delta_x \times \Delta_y$  的许多小面元。

(2) 根据划分的  $x$  方向和  $y$  方向的空间网格数目  $N_x$  和  $N_y$ , 使用下式将海洋波谱离散化:

$$k_x(m) = 2\pi m / N_x \Delta_x, k_y(n) = 2\pi n / N_y \Delta_y.$$

其中  $-N_x/2 \leq m \leq N_x/2$ ,  $-N_y/2 \leq n \leq N_y/2$ 。

(3) 对(4)式进行傅立叶变换得到三维海面仿真图像。

下面给出两组仿真结果, 仿真所用参数如表 1 所示。

图 1 是涌浪方向和风向与雷达航向相同时的海浪谱。中间的点形状是涌浪谱, 类似于冲激函数, 这

是因为其谱非常窄。两旁则是风浪谱, 其谱比较宽。由于涌浪谱能量比风浪谱大, 所以图 1 是在把风浪谱和涌浪谱归一化后绘制的。图 2 则是与其对应的海面波高。图 3 是给出了涌浪方向与雷达航向夹角为 45° 时的海面波高, 其余参数如表 1 所示。

表 1 海面仿真参数

海面长: km	海面宽: km	面元 $\Delta_x$ : m	面元 $\Delta_y$ : m	风速: m/s
16	16	10	10	8
风向角	涌浪波长: m	涌浪方向	波高: m	涌浪谱宽 $\sigma$
0	300	0	4	0.0025

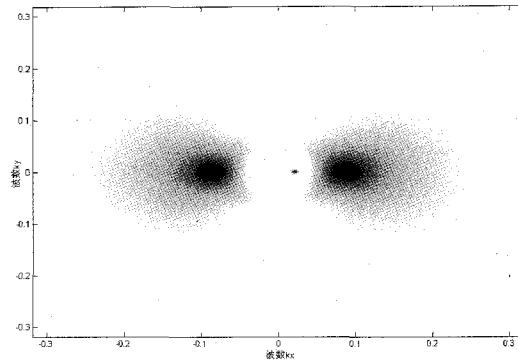


图 1 涌浪谱和风浪谱

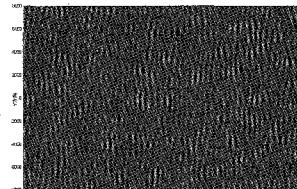


图 2 仿真的海面波高

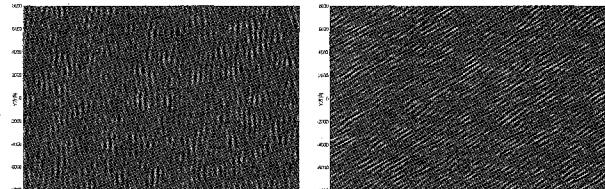


图 3 涌浪方向与雷达航向夹角为 45° 时的仿真海面

## 3 结束语

本文利用已有的海洋学研究成果, 综合考虑了风浪和涌浪, 用傅立叶变换的方法通过计算机软件仿真了三维海面的高度分布。这种方法计算量小, 并且可以仿真任意真实海况, 对微波遥感器的研究具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 张寒元, 于定勇. 三维波峰的数值模拟[J]. 海洋工程, 2004, 22(1): 52-58.
- [2] 聂卫东, 康凤举, 褚彦军, 等. 基于线性海浪理论的海浪数值模拟[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(5): 1037-1039.
- [3] 李维嘉, 陈浩牧, 解革新. 基于波谱密度特性的海浪仿真研究[J]. 海洋工程, 2004, 22(22): 115-118.
- [4] 徐利明, 姜昱明. 基于谱分析的实时波浪模拟[J]. 系统仿真学报, 2005(9): 2092-2095. (下转第 90 页)

中颜色特征空间的选择要根据具体的图像和分割方法而定。现在还没有一种颜色空间可以替代其它的空间而适用于所有彩色图像分割,可见选择合适的特征空间是彩色图像分割的一个难题,Li 等人对此进行了有益的探索,他利用自组织特征映射(SOFM)网络从 5 种颜色空间共 15 个特征中选取有效的特征构成新的特征向量来进行 FCM 聚类<sup>[13]</sup>,并通过与 FCM 算法在不同颜色空间对不同图像的分割效果进行比较来表明这种方法的可行性。而且这些分割方法往往相互结合,例如,聚类和模糊方法结合出现了用模糊聚类、模糊方法来定义区域生长准则<sup>[14]</sup>。目前,对于彩色图像分割,还没有一个统一的方法,现有的方法都是针对特定图像、特定应用场合的,换言之,还没有一个通用的分割算法和颜色空间可以胜任所有的彩色图像分割。虽然大部分基于灰度图像的分割方法可以通过扩展而应用于彩色图像分割,也可直接应用于单个颜色分量,其分割结果再利用某种特定方法进行合并,但是,当彩色向量在 3 个分量上投影时,由于彩色信息会发散而造成信息丢失,因此,如何将彩色信息作为一个整体进行考虑是一个重要问题。

近年来,模糊方法在图像分割领域受到越来越多的关注,其应用成果也层出不穷。虽然模糊运算要占用一定的时间,但是由于模糊方法是处理图像不确定性的一种有效方法,其不仅可以为更高层的处理(图像分析、图像理解、模式识别)保留更多的信息,而且模糊推理还可以部分模拟人的推理能力,因此,随着计算机处理能力的提高和人们对模糊方法研究的深入,模糊方法在彩色图像处理领域必将有更广阔的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] Cheng H D, Jiang X H, Sun Y, et al. Color image segmentation: advances and prospects [J]. Pattern Recognition, 2001, 34(12): 2259-2281.
- [2] Cheng H D, Li J. Fuzzy homogeneity and scale-space approach to color image segmentation [J]. Pattern Recognition, 2003, 36(7): 1545-1562.
- [3] Murth C A, Pal S K. Histogram thresholding by minimizing gray level fuzziness [J]. Information Sciences, 1992, 60(1-2): 107-135.
- [4] Chen H D, Chen J R, Li J. Thresholding selection based on fuzzy C-partition entropy approach [J]. Pattern Recognition, 1998, 31(7): 857-870.
- [5] 刘国栋. 基于多重模糊属性的彩色图像分割 [J]. 浙江大学学报(理学版), 2006, 33(1): 36-40.
- [6] 陈果, 左洪福. 图像的自适应模糊阈值分割法 [J]. 自动化学报, 2003, 29(5): 791-796.
- [7] 李弼程, 柳葆芳. 基于二维直方图的模糊门限分割方法 [J]. 数据采集与处理, 2000, 15(3): 324-329.
- [8] 周礼平, 高新波. 图像分割的快速模糊 C 均值聚类算法 [J]. 计算机工程与应用, 2004, 8: 68-70.
- [9] 李桂芝, 安成万, 张永谦, 等. 基于模糊熵和 RPCL 的彩色图像聚类分割 [J]. 中国图形图像学报, 2005, 10(10): 1264-1269.
- [10] 张爱华, 谭劲. 边缘信息指导下的半模糊聚类图像分割方法 [J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(6): 7-10.
- [11] Yu Jian, Cheng Qiansheng, Huang huokuan. Analysis of the weighting exponent in the FCM [J]. IEEE Trans. SMC-Part B, 2004, 34(1): 634-639.
- [12] 潘建江, 杨勋年, 汪国昭. 基于模糊连接度的图像分割及算法 [J]. 软件学报, 2005, 16(1): 67-76.
- [13] Li N, Li Y F. Feature encoding for unsupervised segmentation of color images [J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 2003, 33(3): 438~447.
- [14] Moghaddamzadeh A, Bourbakis N. A fuzzy region growing approach for segmentation of color images [J]. Pattern Recognition, 1997, 30(6): 867-881.
  
- (上接第 86 页)
- [5] 褚彦军, 康凤举, 聂卫东, 等. 海面场景虚拟仿真方法 [J]. 计算机应用, 2004(Z2): 116-119.
- [6] 谢薇, 郭齐胜, 董志明. 海浪的实时视景仿真 [J]. 计算机工程与应用, 2001(20): 123-125.
- [7] Yiping Sun. Martin Sweeting. Directional wave spectrum estimation by synthetic aperture radar altimeter [C]// International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2000: 2340-2342.
- [8] Benjamin Friedlander, Boaz Porat. VSAR: A high resolution radar system for ocean imaging [J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1998, 34(3): 755-776.
- [9] Stephen L Durden, John F Vescky. A physical radar cross-section model for a wind-driven sea with swell [J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 1985, 10(4): 445-451.
- [10] Donelan M A, Pierson W J. Radar scattering and equilibrium ranges in wind-generated waves with applications to scatterometry [J]. Journal of Geophysical Research, 1987, 92(C5): 4971-5029.