

三维海浪造型的研究^①

庄建东, 曾勇进

(集美大学 计算机工程学院, 厦门 361021)

摘要: 为了表现海浪的真实感和实时性仿真, 本文以 Pierson-Moskowitz 模型为基础, 采用波的波长和波速建立了海浪波高的初始状态值. 通过 FBM(Fractal Brown Motion)的菱形网格方式计算海浪曲面片上每个网格点的波高, 把每个点画出; 再以菱形网格模拟海浪形状, 将海浪点的波高描述为随时间和空间变化的多个正弦波叠加近似地表现海浪的运动效果; 利用光照模型给海浪添加明暗凹凸效果, 增加海浪的真实感; 将真实世界中某一海浪的图像作为纹理源, 贴到每个网格上, 提高仿真的逼真度和运行速度, 达到实时仿真的效果. 利用 Java 和 JOGL 编程模拟, 逼真地生成了海浪在不同风向、不同等级情况下的场景. 实验表明文中所述方法得当, 技术可行.

关键词: 海浪模拟; JOGL; Pierson-Moskowitz 模型; 菱形网格法

Study on the Three Dimensional Shape of the Waves

ZHUANG Jian-Dong, ZENG Yong-Jin

(Computer Engineering College, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: For show realism and real-time simulation of ocean wave, this article is based on Pierson-Moskowitz model, uses waves of wavelength and wave velocities to establish a wave-height of the initial state value. By FBM (Fractal Brown Motion) calculation in diamond grid each grid point waves on the surface of the wave height, draw each point; With diamond-shaped grid simulation for wave shape, describing the waves of wave height as multiple sine wave superposition approximation over time and space to the motion of the waves; Illumination model for wave added dark bump effect, increase the realism of the waves; A wave in a real-world image as the source texture, posted on each grid, improving the fidelity of the simulation and run faster, achieve the purpose of simulation in real time. Using Java and JOGL programmable analog, we realistically generated waves under different wind speed in different types of scenes. Experiments show that the mentioned in the article is right way, technically feasible.

Key words: Sea Wave imitation; JOGL; Pierson-Moskowitz model; Diamond-grid method

随着海浪模拟研究的逐步深入和计算机硬件的飞速发展, 人们对海浪模拟的实时性和真实感提出了更高的要求, 虽然当前计算机的计算能力和存储能力都有了很大的进步, 但仍不能很真实地再现海浪运动的细节, 因此, 本文从海浪实现的真实感性和实时绘制性方面进行了专门的研究.

1 海浪的建模技术及方法综述

海浪模型的建立是海浪仿真的基础, 它在很大程

度上决定了仿真效果的优劣. 从上世纪 80 年代开始, 人们开始对海浪模拟的建模技术进行了研究, 经过 20 多年的发展, 人们攻克了一个个难题, 有了很大的突破与进展. 目前海浪建模的方法大致分为以下几种: 基于物理模型的方法、基于几何模型的方法、基于 Perlin 噪声、基于细胞自动机和基于海浪谱的方法.

基于物理模型的方法不直接模拟波的运动, 而是使用流体力学的方法模拟海浪内部各水粒子的运动, 从而生成波浪^[1]. 一般都是从著名的流体力学方程

^① 收稿时间:2013-04-01;收到修改稿时间:2013-04-27

Navier-Stokes 方程组出发, 通过一系列近似和简化, 用数值方法求解流场来实现. 这类方法设计的海浪, 符合现实中的物理规律, 效果比较真实, 但是求解过程非常复杂, 计算量大, 效率很低, 通常用于水波或海浪的动画生成, 不能满足实时性要求.

基于几何模型的方法是从海浪的几何形态出发, 根据其几何形状^[2], 采用曲线或曲面进行几何建模. 主要的模型有 Stokes 模型、Gersmer 模型、Peachy 模型. 这类方法实现比较简单直观, 计算速度较快, 由于波形函数本身就反应了海洋表面高度的变化, 因此可以模拟海浪的运动, 但是不能模拟波浪的破碎等现象, 且人为痕迹较为明显, 生成的场景不够真实, 使用范围较窄.

基于 Perlin 噪声的方法主要通过不同频率的噪声函数来构造海面高度场. 这类方法计算复杂, 对算法效率有很大的影响, 只适于生成小范围的海域.

基于细胞自动机的方法由空间大量相同的相互连接的简单组元组成, 它不用复杂的方程描述系统, 而以系统组元的动态为研究基点, 通过简单元素及简单规则产生复杂现象. 但采用此方法得到的海浪与真实的海浪谱有较大的误差, 所以并没有得到广泛的应用.

基于海浪谱的方法基于海洋观测的结果, 采用适当的海浪谱反演方法模拟海浪, 一般常用的方法有线性过滤法和线性叠加法. 这类方法数学模型复杂, 计算量较大. 相较而言, 实时性还是优于基于物理的建模方法, 且参数是长期对海洋的观测结果, 所以模型较真实. 其缺点是将海面作为高度场建模, 生成的波峰比较圆滑^[3].

本文针对基于海浪谱的方法做进一步的探讨和研究, 将 Pierson-Moskowitz 模型和 FBM 的菱形方格法结合起来, 实现海浪表面---曲面形状的建模, 曲面上型值点的描述该海浪点的波幅值. 首先用 Pierson-Moskowitz 模型结合系统界面上的相关数据计算得到海浪曲面上四个角的初始值, 然后用 FBM 方法迭代计算海浪曲面的型值点, 完成海面的网格点表示, 对网格点施以正弦函数实现海面做波形运动. 再通过纹理和渲染模拟动态海面, 力求实现海浪及其运动的真实感和实时性.

2 海浪建模方法

海浪模拟包括许多方面, 本文主要研究海浪的建

模及海浪曲面的绘制、海浪运动的设计方法和海面的光照效果处理, 包括海浪波的能量分布和波幅计算等.

2.1 海浪曲面型值点初值设置

利用 Pierson-Moskowitz 计算海浪曲面型值点的初值, Pierson-Moskowitz 模型是通过观察真实的水表面, 测量表面距角, 然后用数学公式加一定的经验因素来描述测量值, 把频率分布描述成自变量为频率的能量函数. 本文根据用户界面给出的风速值计算海浪的波长, 基于频率的能量分布计算出波浪传播方向的角度分布, 得到总能量分部, 最后通过傅立叶变换得到波幅值. 其具体过程如下:

(1) 根据风速计算海浪的波长

要生成一个波, 需要一定的能量. 假定有某一能量值, 并用其 30% 生成频率为 1Hz 的波, 波速为 4m/s, 就可以确定该 30% 的波, 其波长为 4m. 这个模型的频率分布的公式如式(1)所示.^[4]

$$E_{PM}(f) = \frac{ag^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{f_m}{f}\right)\right]^4 \quad (1)$$

其中: $a=0.0008$, $f=0.13g/v$, $g=9.81m/s^2$, v 为风速, f_m 用是频率分布的峰值频率

理论上知道了峰值频率就可以计算波长. 问题是我们需要波的速度, 但波速现在还是未知. 由散射方程得:

$$\omega(k) = \sqrt{gk} = \sqrt{g\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)} = 2\pi f \Rightarrow \lambda = \frac{g}{2\pi f^2} \quad (2)$$

取风速为 4m/s 时, 由式 1 得峰值频率为 0.319Hz, 代入式(2)可算出波长 λ 为 15.36m.

(2) 计算海浪能量分布

有了基于频率的能量分布, 要计算出波浪传播方向的角度分布. 可行的方法是使用 Mitsuyasu 公式. 该公式描述了海浪的传播方向, 或者说它给出了频率为 f , 相对于风的方向角度为 θ 的波的能量, 即:

$$D(f, \theta) = \frac{\Gamma(s+1)}{2\sqrt{\pi} \cdot \Gamma(s+0.5)} \left(\cos^2 \frac{\theta}{2}\right)^2 \quad (3)$$

其中:

$$\Gamma(s+1) = \int_0^{\infty} x^s \cdot e^{-x} dx, s = \begin{cases} 9.77 \cdot \left(\frac{f}{f_m}\right)^{-2.5} & f \geq f_m \\ 6.97 \left(\frac{f}{f_m}\right)^5 & f < f_m \end{cases} \quad (4)$$

确定了频率分部和角度分部之后, 就可以得到总能量分部:

$$E(f, \theta) = E_{PM}(f) \cdot D(f, \theta) \\ = \frac{a \cdot g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp\left[-\frac{5}{4} \cdot \left(\frac{f_m}{f}\right)^4\right] \cdot \frac{\Gamma(s+1)}{2\sqrt{\pi} \cdot \Gamma(s+0.5)} \left(\cos^2 \frac{\theta}{2}\right) \quad (5)$$

式(5)是海浪能量分布的最后结果, 它是频率、风和海浪之间的夹角的函数. 有了这个公式, 便可以计算波幅.^[5,6]

(3) 计算波幅

要计算波幅, 需要进行傅立叶变换, 由式(6):

$$F(k) \frac{E(f, \theta)}{k \cdot \frac{dk}{df}} \quad (6)$$

通过傅立叶变换得:

$$F(k) = \frac{E(f, \theta) \cdot g}{k \cdot 8 \cdot \pi^2 \cdot f} = \frac{1}{2\pi^2} |a(k, \omega)| \quad (7)$$

故可计算出波幅:

$$a = \sqrt{\frac{E_{PM}(f) \cdot D(f, \theta) \cdot g \cdot \pi^2}{k \cdot f \cdot \Omega}} \quad (8)$$

2.2 静态海浪的建模

海浪模型的建立是海浪模拟的基础, 它很大程度上决定了仿真效果的好坏. 通常情况下, 需要模拟的海浪属于大范围, 无边界的区域, 但由于计算机处理速度和内存方面的约束, 为了达到较好的实时性, 本文采取两个步骤进行.

(1) 先对海面进行网格划分, 目前常用的网格划分方法可以分为基于随机采样点的网格划分、基于固定采样点的网格划分和基于视点的网格划分. 本文采用固定点采样划分方法和基于视点的划分方法结合起来, 通过FBM的菱形网格方式计算得到所要求的区域海浪点的高度即波幅值, 把每个点画出, 再以菱形网格表示.

(2) 通过纹理贴图完成模型的绘制, 再对模型进行渲染.

2.3 动态海浪生成方法

海浪的运动特征很复杂, 主要表现为形状不规则, 具有复杂性和随机性. 可以概括为近似周期性的规则波形的叠加, 即海浪的运动形态可以看作是由一系列具有不同频率、波数、波幅和传播方向的规则波叠加

而成, 类似于简单三维进行波. 根据海浪的这种运动特征可以使用多个正弦^[7]或余弦波^[8]叠加来近似地表示海浪的运动形态.^[9]在这里我们用正弦函数来模拟, 为了实现海浪运动的效果, 将构成海面点的高度模拟波高, 其值设为随时间和空间变化的函数.^[10]

2.4 海面的光照效果处理

如果只通过波幅表现海浪的起伏, 形成的动态水面只是一个粗糙的水面轮廓, 缺乏真实感, 因此必须给海浪添加明暗凹凸效果, 这就需要用到光照模型, 光线在很大程度上表现了物体的立体感.

OpenGL 在处理光照时采用这样一种近似: 把光照系统分为三部分, 分别是光源、材质和光照环境. 光源就是光的来源; 材质是指接受光照的各种物体的表面, 材质特点决定了物体反射光线的特点, 光照环境是指一些额外的参数, 它们将影响最终的光照画面, 对于光源发出的光线, 可以分别设置其经过镜面反射和漫反射后的光线强度. 对于被光线照射的材质, 也可以分别设置光线经过镜面反射和漫反射后的光线强度. 这些因素综合起来, 就形成了最终的光照效果.^[11]

2.5 纹理映射

实时仿真动态海面时, 若直接模拟海面上每个水点的运动, 这是目前任何一个成像系统都难以实现的. 最常采用的方法就是纹理映射技术.^[12]将真实世界中某一海况的图像作为纹理源, 贴到每个网格上, 这样不仅提高仿真的逼真度, 而且可大大提高运行速度, 从而达到实时仿真的目的.

本文运用二维纹理映射实现场景的纹理细节, 二维纹理映射实质是从二维纹理表面到三维景物表面的一个映射. 实现时用到两个纹理, 一个是用于背景图的纹理, 一个是用于海浪网格的纹理, 分别对两个纹理进行映射, 再指定到所需坐标上.

在使用纹理映射时, 由于源纹理图像的大小是固定, 而网格大小不是固定, 这样造成纹理不能适应网格的变化. 本文采用源纹理拉伸技术以解决此问题.

3 实验结论

本文将 Pierson-Moskowitz 模型与 FBM 方法结合起来完成海浪曲面的建模, 曲面的型值点是该海浪点的波幅值. 首先用 Pierson-Moskowitz 模型计算海浪曲面型值点上四个角的初始值, 然后用 FBM 方法计算海浪曲面的型值点, 完成海面的网格点表示, 通过对每

个菱形网格通过纹理贴图和渲染完成了静态海面的建模。将计算的海浪曲面型值点的波幅值模拟为海浪波高,其值为随时间和空间变化的多个正弦波叠加,近视地表现海浪的运动形态。主要工作是由海浪波的波长和波速计算波幅,具体过程是按步骤依次计算出基于频率的能量分布、波浪传播方向的角度能量分布和总能量分布,最后计算出波幅。根据波长和波幅结合正弦函数,构造特殊的波浪函数形成动态的波浪曲面,最后在网格曲面上进行纹理映射^[13]和光照模型处理,增添海浪的真实感和立体感。文中所讨论的技术和方法在波浪建模的实验中得到了应用,利用 Java 结合 OpenGL 编程完成了海浪的建模、海浪网格面的纹理映射和海面的光照效果处理,实现了海浪在不同风速下、不同风向、不同等级情况下的场景^[14],如图 1 所示。实验表明技术可行、方法得当、效果良好。

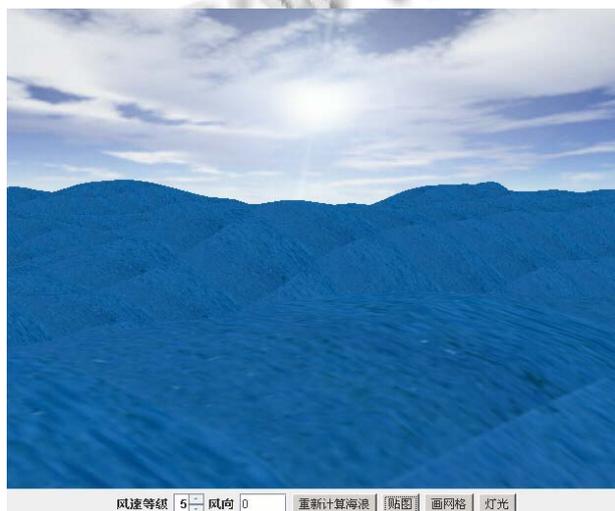


图 1 海浪场景图

参考文献

- 褚彦军,康风举.近岸海浪的视景建模与仿真.2004 航海技术学术交流论文集.西安,2004:107-114.
- 刘维亭,张冰,王建华.海浪的模拟仿真.华东船舶工业学院学报,1999,13(6):6-9.
- 刘洁.基于海浪谱的 Gerstner 波浪模拟.计算机工程与科学,2006,28(2):41-44.
- Chen J, Lobo N. Toward interactive rate simulation of fluids with moving obstacles using navier-stokes equations. Graphical Models and Image Processing, 1995, 57(2): 107-116.
- 曾凡涛,贺怀清,杨国庆.构造特征函数拟合波浪曲面.中国民航学院学报,2003,21(12):198-201.
- 贾俊涛.使用 2DFFT 优化计算海浪波高模型.海洋测绘,2004,24(4):26-28.
- Johanson C. Real-time water rendering-Introducing the projected grid concept[Master Thesis]. Sweden: Department of Computer Science. Lund University, 2004, 3.
- 李广鑫,丁振国,詹海生,周利华.一种面向虚拟环境的真实感水波面建模算法.计算机研究与发展,2004,41(9).
- Foster N, Fedkiw R. Practical animation of liquids. Proc. of SIGGRAPH.2001. New York, ACM Press. 2001: 23-30.
- 鄢来斌,李思昆,张秀山.海浪实时生成技术研究.计算机辅助设计与图形学学报,2000,12(9):715-719.
- 贾俊涛.使用 2DFFT 优化计算海浪波高模型.海洋测绘,2004,24(4):26-28.
- 杨怀平,孙家广.基于海浪谱的波浪模拟.系统仿真学报,2002,4(9):1175-1178.
- 刘洁.基于海浪谱的 Gerstner 波浪模拟.计算机工程与科学,2006,28(2):41-44.
- 徐利明,姜晏明.基于谱分析的实时波浪模拟.系统仿真学报,2005,17(9):2092-2095.
- 褚彦军,康风举.近岸海浪的视景建模与仿真.2004 航海技