

基于快速 Fourier 变换三维海浪建模方法研究

刘 旭

(辽宁信息职业技术学院, 辽宁 辽阳 111000)

摘 要: 提出了基于海浪谱的快速 Fourier 变换的大范围深海场景的建模方法. 针对海浪三维结构上的缺陷, 计算出用于水面网格变形的顶点三维数据, 还计算出用于水面光照计算的表面法向量和切向量, 将得到的高度场数据平铺到可见区域的网格上, 以模拟出整个可见海面的波浪效果. 该方法能够区分杂乱的海浪细微轮廓, 可以很好的完成海浪的三维模拟, 最终改进了三维海浪仿真的真实感和清晰度, 达到了令人满意的效果.

关键词: 海浪建模; 快速变换; 清晰度

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)03-0125-04

Based on Fast Fourier Transform 3D Modeling Method to Study the Waves

LIU Xu

(Liaoning Information Vocational Technical College, Liaoyang 111000, China)

Abstract: Put forward based on the fast Fourier transform wave spectrum large areas of the deep sea scene drawing method. According to the waves 3D structural flaws, calculate the water deformation of the grid vertex 3D data, also calculated for the water surface of the lighting calculation method of vector and cut vector, receive the height of the field data of visible region, to simulate the visible the sea waves. The method can distinguish between mixed and disorderly waves, well outline fine finish the waves of three dimensional simulation, and ultimately improve the 3D simulation waves clarity, get a satisfactory effect

Key words: hair true modeling; Fourier transform; waves of realism

1 引言

随着计算机三维建模技术的发展,对自然场景的计算机三维模拟成为一个热点,该技术是利用计算机对客观存在的自然场景进行仿真描述,运用计算机真实反映其外貌特征^[1]. 其中,大规模海浪场景的绘制,由于其广泛的应用性,受到了越来越多的计算机图形学研究者的关注. 原因是对海浪的实时绘制在三维虚拟游戏、海军虚拟演习及东环制作的不可获取的资源^[2];另一方面,从计算机视觉的角度上说,海浪的三维模拟不仅仅设计计算机图像学中的相关知识,同时对于流体力学、空气力学、波动力学、等都具有很重要的意义. 随着计算机技术的发展,研究者们发展了一些适

用于三维海浪建模的数据获取方法^[3]. 1983 年 Reeves 提出了一种模拟不规则模糊物体的方法,它充分体现了模糊物体的动态性和随机性,能很好地描述薄雾、雨水、雪花,等复杂的自然景物. 另外一些有名的方法. 如坐标定位法,立体视觉的方法等等都被陆续用到了海浪的建模中^[4].

2 三维动态海浪建模原理及缺陷

传统方法都存在一个问题,就是当建模海浪这种体积较大,模形状复杂的物体的时候. 在采集三维坐标的过程中,受到海浪形状复杂多变的限制,物体上的一些关键性的三维坐标会在建立的坐标轴上发生坐标的重叠,混淆. 这样根据这些坐标画出的海浪三维特征网格点会发生重叠和粘连,在根据这些三

维特征点连接组建模型的时候由于坐标重叠,会发生坐标混淆,引起坐标连线混乱,造成三维海浪建模的不清晰,真实感下降^[5-6]. 本文将着重对这个问题进行研究.

2.1 海浪建模原理

传统的立体视觉海浪建模的第一步是在有效的海水动态区域内提取海水的一些关键二维特征点进行转换. 海水特征点提取具体如下方法:首先建立海水形状二维计算公式模型:

$$x = \bar{x} + Q_x c \quad (1)$$

$$y = \bar{y} + Q_y c \quad (2)$$

其中 Q_x 和 Q_y 分别为海浪轮廓变化模式矩阵和海水细节纹理变化矩阵,由控制参数矢量 c 控制海浪的动态形状和细节纹理的变化,通过调节 c 可以得到不同的海水动态形状和细节纹理,以及海水网格中关键点的二维坐标.

计算出海浪中关键特征点的二维坐标后,要通过计算机标定,把二维坐标转化成三维坐标,完成三维海浪的建模. 提取海浪三维坐标要通过双目立体视觉理论完成. 摄像机机位示意图如图 1 所示.

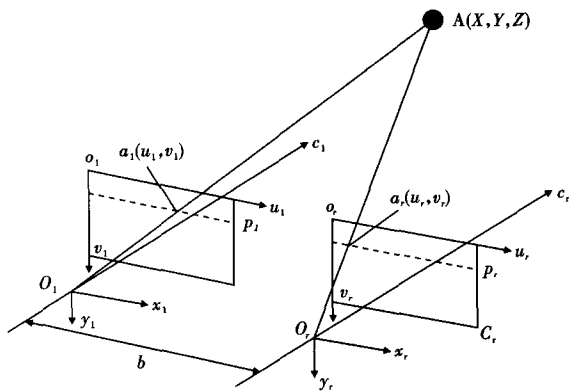


图 1 摄像机机位示意图

其中 X_1, X_2 是计算机机位的位置. 两者互成 90 度,对海水的不同角度进行图像采集. A 是图像中头发的关键特征点, P_1, P_2 为在两个成一定角度的摄像机的成像点, A 必定位于 O_1A 和 O_2A 的 2 条直线的交点上. 采集海水二维图像时,使得摄像机 C_1 的光轴与头部坐标系的 X_o 轴重合,且摄像机 C_1 的坐标系中的 Z_1 轴与头部坐标系的 Z_o 轴平行. 成像点 P_1 与 P_2 在各自摄像机图像平面上的坐标分别为 (u_1, v_1) 和 (u_2, v_2) , 角度为 θ (90 度), 根据线性摄像机模型可以得到如下转换方法:

$$\begin{cases} u_1 = \frac{L}{D-X} Y \\ v_1 = \frac{L}{D-X} Z \\ u_2 = \frac{L}{D-(X\cos\theta+Y\sin\theta)} (Y\cos\theta-X\sin\theta) \\ v_2 = \frac{L}{D-(X\cos\theta+Y\sin\theta)} Z \end{cases} \quad (3)$$

其中,如果要知道拍摄海水的实际距离 D 及拍摄的摄像机的焦距 L ,就可将二维海量的动态特征点的坐标转化成三维坐标 (X, Y, Z) . 连接三维坐标就可以得到海浪的模型.

为了衡量建模效果的好坏,这里给出一个衡量三维模型清晰度计算公式.

$$G = \sqrt{g_x^2 + g_y^2 + g_z^2} = \sqrt{(f(x, y, z) \times S_x)^2 + (f(x, y, z) \times S_y)^2 + (f(x, y, z) \times S_z)^2} \quad (4)$$

其中 g_i 反映的是特征点在各个坐标轴上灰度的变化. $f(x, y, z)$ 是灰度计算公式. S_i 为梯度矩阵.

2.2 海浪建模缺陷

通过以上的海浪三维仿真原理可以看出,在二维海浪数据点获取的过程中,公式(1)中得到的特征点都是在相应的二维坐标系下进行计算得到的,在计算过程中,三维海浪信息会在二维坐标系下会发生三维特征信息丢失,只保留了二维特征,因此,在进行公式(3)的计算时,很可能造成在坐标在 Z 坐标轴上重合. 当得到的海浪三维特征点种,三维坐标与 Z 轴坐标重合的点越多,建立的模型越杂乱无章,最终影响公式(4)中各个坐标轴上相应点灰度和梯度的变化,影响海浪建模的真实感和清晰度.

为了解决这一问题,本文运用海浪谱的快速 Fourier 变换的大范围深海场景的绘制方法. 克服传统方法中存在的缺陷,避免了海浪三维坐标大面积重叠的可能,解决真实感差的问题. 取得了不错的效果.

3 基于 Fourier 变换的海浪建模

3.1 海浪的频谱分析

模拟海浪算法的第一步是对海浪的动态特性进行分析. 通过对海浪的线性描述,可以把海浪的运动假设为平稳正态分布的,且各个状态存在差异. 如果把海浪看成是静止的,可以把海浪表现为很多正弦函数波形的累积结果,表示如下:

$$\eta(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(\omega_n t + \epsilon_n)$$

式中: a_n, ω_n 分别代表描述海浪的余弦函数的参数; ϵ_n 为在 $0 \sim 2\pi$ 内成均匀分布的初始参数. 定义如下:

$$S(\omega) = \frac{1}{\Delta\omega} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2} a_n^2 \quad (5)$$

$S(\omega)$ 表示在频率变化区间 $\Delta\omega$ 内的能量变化分布情况. 假如 $\Delta\omega=1$, 上式可以看成是能量密度分布情况, 故 $S(\omega)$ 也可成为能量频谱. 理论上讲 $S(f)$ 分布在 $f=0 \sim \infty$ 范围内, 其变化的分布区间在一定范围内. 海浪谱表示如下:

$$S(\omega) = \frac{A}{\omega^p} \exp\left(-B \frac{1}{\omega^p}\right) \quad (6)$$

P 为在一定区间内的常数, A, B 表示海浪运动过程中风的吹动和波动的特性, ω^p 与频率变化成反比, 其主要操作频谱中频率较高的部分, 指数部分变化迅速, 加速度很快, 使 $\omega=0$ 处的 $S(\omega)=0$. 上面的表示方法结构简单, 可以随着动态变化调整参数, 控制海浪形状模型.

3.2 海浪的方向谱分析

上面说明了海浪随着时间的不同变化的不同趋势, 实际上, 海浪的这种变化是不规则的, 其能量也存在着较大的跳跃性, 其分布的范围很广泛, 波浪之间的高度和频率都存在着较大的差别, 当不同形状的海浪汇聚到一点的, 此时, 某一个三维海浪特征点的振幅表示为 a_n 、频率为 ω_n 、初相为 ϵ_n . 取得这些参数, 可以计算沿 x 方向波形的叠加结果. 表示如下:

$$\bar{x} = \bar{x}_0 - \left(\frac{\bar{k}}{k}\right) A \sin(\bar{k} \cdot)$$

根据线性运动原理: $\omega_n^2 = g k_n^2 h$ 带入上式可得:

$$\eta(x, y, t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos\left[\omega_n t - \sqrt{\frac{\omega_n^2}{gh}} (x \cos \theta_n) + \epsilon_n\right]$$

其中 h 为测得的海水深度. 上式表明在 T 时刻的三维海浪运动中, 海浪由偏移角度 θ_n 和运动频率 ω_n 叠加而成. 对于海浪的运动频率间隔 $\Delta\omega$ 和运动方向距离 $\Delta\theta$ 内组成的运动波, 其运动动能为 $\frac{1}{2} a_n^2$, 可以得到其方向上的运动密度 $S(\omega, \theta)$. 如下所示:

$$\sum_{\Delta\omega} \sum_{\Delta\theta} \frac{1}{2} a_n^2 = S(\omega, \theta) d\omega d\theta$$

海浪的运动方向可以表示为如下形式:

$$S(\omega, \theta) = S(\omega) G(\omega, \theta)$$

$S(\omega)$ 为海浪频率, $G(\omega, \theta)$ 为运动方向表述函数, 也成为运动函数, 它必须符合以下条件:

$$\int_{-\pi}^{\pi} G(\omega, \theta) d\theta = 1 \quad (7)$$

3.3 海浪的建模

在流体力学的运动方程中是以傅里叶变换为基础的, 该方程组表示形式如下:

$$\begin{cases} \frac{\partial u(x, t)}{\partial t} + u(x, t) \cdot \nabla u(x, t) + \nabla p(x, t) / \rho \\ \nabla u(x, t) = 0 \\ = v \nabla^2 u(x, t) + F \end{cases}$$

求解这个多为方程组, 比较麻烦. 为了简化海洋三维仿真计算的复杂程度, 可以把海面看成是无外力干扰, 静止的. 所以将上述方程组简化为以下形式:

$$\begin{cases} \frac{\partial \phi(x, y, t)}{\partial t} = -gh(x, y, t) \\ \frac{\partial h(x, y, t)}{\partial t} = (\sqrt{-\nabla_H^2} \phi(x, y, t)) \end{cases}$$

经过简化变化后的方程组成功降低了维度, 该方程组的解可以分解表示, 表达为如下三个式子:

$$h(x, y, t) = \int_{-\infty}^{\infty} dk_x dk_y \bar{h}(\bar{k}, t) \exp\{i(k_x x + k_y y)\}$$

$$\bar{h}(\bar{k}, t) = \bar{h}_0(\bar{k}) \exp\{-i(k_x x + k_y y)\}$$

$$\omega_0(\bar{k}) = \sqrt{g |\bar{k}|}$$

以上参数, 代表的意义也截然不同, 下面加以说明. 其中, 上面的公司表示了海洋频谱的变化和海洋频谱时间传播速度, 也称为海浪的扩散关系方程, 只有加入这个方程, 才能表示在不同时间内海浪的动态变化. $\bar{h}_0(\bar{k})$ 是决定海洋波浪形状的复数. 由上面的公式可以看出, 只要计算出 $\bar{h}_0(\bar{k})$ 的值, 就可以计算出 $h(x, y, t)$, 这样就能模拟出海浪的真实运动.

为了求出方程组的近似值, 可以表示如下:

$$\bar{x} = \bar{x}_0 - \left(\frac{\bar{k}}{k}\right) A \sin(\bar{k} \cdot \bar{x} - \omega t)$$

$$y = A \cos(\bar{k} \cdot \bar{x}_0 - \omega t) \quad (8)$$

通过以上的解, 能够生成三维海浪仿真波形, 但是这个解的形式过于简单, 通过水平垂直方向的正弦余弦函数叠加, 不能模拟真实的波浪效果. 通常采用的是叠加多个 Gesmer-Wave 的方法, 进行更加逼真的模拟效果生成, 表示成如下方程组:

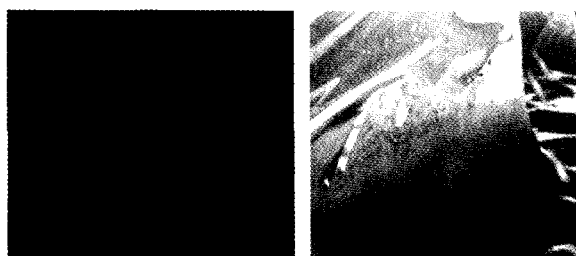
$$\begin{cases} \bar{x} = \bar{x}_0 - \sum_{i=1}^N (\bar{k}_i / k_i) A_i \sin(\bar{k}_i \cdot \bar{x}_0 - \omega_i t) \\ y = \sum_{i=1}^N A_i \cos(\bar{k}_i \cdot \bar{x}_0 - \omega_i t) \end{cases} \quad (9)$$

利用上面阐述的方式可以获取精确的三维海浪的三维动态特性. 避免了由于三维坐标重叠缺陷对

其精确性的影响,获取了比较好的效果.

4 实验结果分析

为了验证本文算法的有效性和先进性.本文采用对比的方法对海浪的同一图像进行建模.海水在发生大规模波动的情况下容易发生坐标混淆和重叠,计算的方法分别采用本文的方法和传统的双目立体视觉建模法,建模的直观效果图如图 2 所示.



(a) 本文方法

(b) 传统方法

图 2 建模的直观效果图

通过对比可以看出,第二幅图片发生很明显的错位,真实感和清晰度都不算高,传统算法在浪花波动和一些细节处,出现漏判,本文的海浪建模方法的丰满度和饱和度更高.下面根据第 2 节中的清晰度计算公式(4): $G = \sqrt{g_x^2 + g_y^2 + g_z^2}$,来计算两幅图像的清晰度.统计结果如图 3 所示.

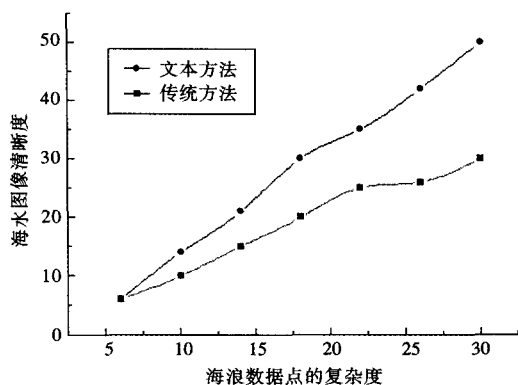


图 3 算法清晰度统计对比

可以看出,随着海浪数据点的增多,复杂度增

加,本文算法的清晰度要高于传统算法.对以上三维统计数据分析得到结果如表 1 所示.

表 1 海浪三维建模清晰度统计

	图像清晰度
传统方法	44.6
本文方法	78.3

5 结束语

文中深入研究了基于海浪谱的快速变换,以及大范围海浪运动的绘制方法.通过统计可以看出,本文方法在海浪图像建模的真实感、清晰度方面有了大幅提高,取得了不错的效果.

参考文献:

- [1] Ansaria, Abdel-motfaleh M. 3-D face modeling Using two view and ageneric face model with application to 3-D face recognition[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance. Mianli, USA; IEEE, 2003: 37-44.
- [2] Xiao J, Kanade T. Non-rigid shape and motion recovery: degenerate deformations[C]//Proc of the 2004 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Washington DC, USA; IEEE, 2004.
- [3] Liu L, Wang G. Explicit matrix representation for NURBS curves and surfaces[J]. Computer & Graphics, 2001(25): 55-56.
- [4] 李红霞. 三维面像重建与分割[D]. 北京: 中国科学院自动化研究所, 2000.
- [5] 唐涛, 栗毅, 陈涛, 等. 一种新的图像局部仿射不变特征提取方法[J]. 计算机仿真, 2007(07): 77-78.
- [6] 费华东, 李伟青. 基于网格计算的近海岸波浪仿真[J]. 系统仿真学报, 2005(17): 21-22.

作者简介:

刘旭女, (1969—), 副教授. 研究方向为计算机软件与理论.