

海浪算法分析与设计

唐承华,蔡建立

(厦门大学 信息科学与技术学院,福建 厦门 361005)

摘要:近年来,对三维水的模拟尤其是海浪模拟日益成为人们关注的焦点问题,逼真地再现三维海浪常常是电影、游戏等行业中要解决的重点问题之一。本文采用了正余弦波形叠加和 iWave 两种方法进行海浪的模拟,为了达到更佳的效果,均对以上两种方法均进行了优化改进,最后对两种算法进行比较分析。

关键词:海浪模拟;波形叠加;iWave

中图分类号:TP311 文献标识码:A 文章编号:1009-3044(2008)07-11355-03

The Analysis And Design Of Ocean Wave Algorithm

TANG Cheng- Hua,CAI Jan- Li

(The Science Information and Technology School, Xiamen University,Xiamen 361005,China)

Abstract: In recent years,the simulation of 3D water especially ocean wave has been given more and more attention, realistically reappear 3D wave usually is one of the key problems, such as movie and game...etc. This paper use two kinds of method:positive cosine wave fold and iWave to simulate the ocean wave.for better effect,we optimize two arithmetics which discussed above,finally,we offer a comparative analysis of these algorithms

Key words:The wave simulation; the wave fold;iWave

1 引言

近年来,为了构造出逼真的各种效果,计算机图形领域中对风、雨、雪、火焰、海浪等各种自然现象的研究模拟显得尤为重要,尤其是对开放水域(open-water)的实时模拟已广泛应用于各种游戏、虚拟海战以及电影制作之中,然而,同其他物体的模拟相比,海水的模拟往往更为困难和具有挑战性,主要表现在^[1]:

(1)海平面相当广阔,并且海水水体的形状具有随机性、可变性,因此不能用静态的几何多边形表示,而要每一帧都必须更新;

(2)海水的波动是受到各种力的作用而综合产生的,风与海浪的相互作用仍然是海洋学中尚未能很好解决的主要问题之一,故其运动非常复杂;

(3)基于水动力学、流体力学等的海水模型通常都是非常难解的偏微分方程,并且庞大的运算量往往要进行各种优化,否则使用普通的 PC 机难以达到实时模拟的效果。

目前,水波的绘制算法已有很多种,比如:Fourier 合成技术、perlin noise 建模以及基于物理模型的 Navier Stokes 方程等等。《世界》、《泰坦尼克号》等这些电影就是用 FFT(快速离散傅利叶变换)建模来绘制逼真的海水。但这种方法比较复杂,速度也慢一些,因为 FFT 运算只能在 CPU 上运算,无法使用 GPU 的功能。最为简单的水波生成方法是正弦波叠加技术,这是一种空间域的 Fourier 合成技术,通过将一系列不同频率、相位、振幅的正弦波叠加起来产生所需的水波。其突出的优点是速度快,可由 GPU 的并行处理功能来承担建模运算,但缺点是只能模拟小振幅的水波。本文主要采用正余弦叠加算法和 iwave 两种方法进行水波模拟,最后对 2 种算法进行比较和分析。

2 水波叠加模型的提出

根据参考文献^[1]得出运用正弦波叠加技术的波纹函数定义为^[2]:

$$H(x,y,t) = \sum_{i=1}^n A_i \sin((D_{ix} \cdot x + D_{iy} \cdot y) \cdot 2\pi / L_i + t \cdot \omega_i \cdot 2\pi / L_i)$$

其中: A_i 为第 i 个正弦波的振幅

L_i 为第 i 个正弦波的波长

收稿日期:2008-01-15

基金项目:厦门大学国家 985 工程信息科学学院科研基金(0000-x07204)

作者简介:唐承华(1982-),男,江西省于都县人,硕士生,研究方向:自适应滤波及图像处理,海浪模拟算法设计等;蔡建立(1950-),男,福建厦门人,厦门大学副教授,硕士生导师,主要研究方向:信号与图像处理,船舶运动分析等。

D_{ix}, D_{iy} 为第 i 个正弦波的前进方向
 S 为第 i 个正弦波的前进速度
 t 为时间

上述的函数实际上定义了 t 时刻水波的高度场。当 t 连续变化时, 就得到了水波的运动。将该波纹函数作为位移函数扰动景物表面, 可产生所需水波的动力学效果。

理论上, 任意波形都可使用无数个正弦波叠加而成。不过为了实时生成水波, 本文只使用了六个正弦波叠加, 因此在一定程度上保证了速度, 但是形成的动态水面只是一个粗糙的水面轮廓。为了弥补细节上的缺失, 可将一个预先定制的 Bump mapping(凹凸纹理映射) 映射到水面轮廓上, 来展示水面细小的波纹, 从而提高真实感, 在 Microsoft visual studio.net 2003 及 Microsoft directX 9.0c 环境下运用该算法进行编程, 并拟加以 Bump mapping 对海浪模拟效果进行修正, 建立的海浪如图 1 所示:



图 1

3 水波互动模型的提出

Fourier 合成技术、perlin noise 建模及以上正余弦波叠加技术形成的波不能实现物体和水体表面的交互。例如: 让船开过还海域并产生惊涛骇浪, 同时产生船航线尾迹。使用 FFT 的模拟, 浴缸中的水波不会来回荡漾。总的来说, FFT 的方法把任意的物体放入水中, 象在真实的世界一样使之与水面产生互动, 同时又不造成帧的损失, 这是不可能的, 从使用的角度来说, 波浪表面的模拟还受到一些限制, 如高度数据可以在一帧内或帧之间进行修改等。

本方法提供了一种称 iWave 的方法, 用来计算水面波浪传播, 并且可以突破上述限制, 运用该方法时涌向物体的波浪碰到物体会反弹回去, 整个 iWave 算法最终归结到二维卷积和掩码这两种使用硬件加速的操作。由于这种方法避免了 FFT, 因此它的互动性很强, 应用范围广泛。

3.1 模型提出

参照参考文献^[2]中水体表面波浪运动方程式,^[2]是一个很经典的有关波浪力学详细资料, 同时结合 [Tessendorf02]一文中给出了如下方程式^[3,4]:

$$\frac{\partial^2 h(x, y, t)}{\partial t^2} + \alpha \frac{\partial h(x, y, t)}{\partial t} = -g \sqrt{-\nabla^2} h(x, y, t) \quad (1)$$

其中, $h(x, y, t)$ 是水面的实时高度, 它的含义是: 在 t 时刻里, 水平位置处的水面高度值, 左边的第一项是波浪的垂直加速度, 左边的第二项带有 α , 是带速度的阻尼项, 它不总是水面波浪方程的一部分, 但有时候对控制可能发生的数值不稳定性很有帮助, 右边的项是质量守恒和重力恢复结合而来, 其中,

$$\sqrt{-\nabla^2} = \sqrt{-\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\partial^2}{\partial y^2}} \quad (2)$$

是质量守恒操作, 我们可以认为是表面的垂直导数。它的作用就是保持被移动的水总质量守恒。即当一个点水面上升的时候, 在该位置的水总质量就将增加。要使质量守恒, 水面就要存在某个点高度下降, 这些减少的水量与前一个水面升高地点增加的水量是相同的。

3.2 垂直导数操作符的计算

如下图 2 所示:

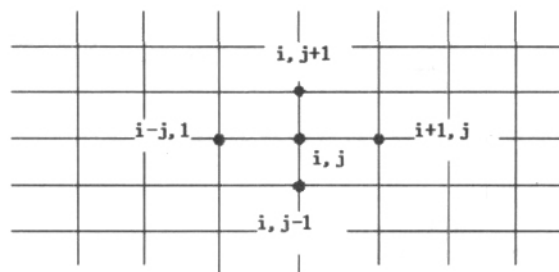


图 2 计算波浪高度的网络格局

水平位置(x,y)变成为网格位置(i,j)在该位置中在该位置中 $x_i=i\Delta, y_j=j\Delta$, 在网格 2 个方向上的间隙为 Δ , 下标 $i=1, \dots, N, j=1, \dots, M$ 。在一个卷积中, 垂直导数在有高度网格上的操作是:

$$\sqrt{-\nabla^2} h(i, j) = \sum_{k=-p}^p \sum_{l=-p}^p G(k, l) h(i+k, j+l) \quad (3)$$

卷积核大小是 $(2p+1)(2p+1)$ 的正方形, 它可以被预先算出来, 模拟开始之前就把它存储到查询表中, 为了清楚地得到水一样的动态, p 取值越大越好, 为了达到较好的效果 p 一般至少取 6。

首先计算核心函数值 $G(k, l)$ 并把他们存储在一个查询表中是一个相对简单的过程, 第一步是计算一个单个数字, 它会调整中心值唯一的核函数值, 即:

$$G_0 = \sum_n q_n^2 \exp(-\sigma q_n^2) \quad (4)$$

这个求和计算中, $q_n = n\Delta q$, 取 $\Delta q = 0.001, n = 1, 2, \dots, 10000$, 因数 $\alpha = 1$ 利于计算, 有当 $r = \sqrt{r^2 + k^2}$ 时, 核函数为:

$$G(k, l) = \sum_n q_n^2 \exp(-\sigma q_n^2) J_0(q_n r) / G_0 \quad (5)$$

剩下的要计算卷积核函数要素是 J_0 , 而其已经包括在 C 标准数学函数库中。

上述方程的卷积操作需要做 $(2p+1)^2$ 次的乘法及加法运算, 为便于简化, 进行优化如下:

由于函数核心是旋转对称的, 即 $G(k, l) = G(l, k)$, 并且有 $G(k, l) = G(k, -l) = G(-k, l) = G(-k, -l)$, 卷积操作简化如下(构建时利用 $G(0, 0) = 1$):

$$h(i, j) + \sum_{k=0}^p \sum_{l=k+1}^p G(k, l) [h(i+k, j+l) + h(i-k, j-l) + h(i+k, j-l) + h(i-k, j+l)]$$

这样这里只有 $(2p+1)^2$ 次加法运算和 $p(p+1)/2$ 次乘法运算, 因此显卡 DSP 都能更有效、快速地执行卷积操作。

3.3 添加卷浪

应用上述方法生成的浪无法产生卷浪的效果, 为此我们以 Fournier 模型为基础, 适当改进该算法, 使之适应我们的需要, 改进算法的本质是: 适当摄像机视野的一段范围, 对这段范围重新计算, 使原来由 Fournier 模型所计算得到的结果由我们的改进 Fournier 算法的结果替代之。这样, 我们得到了卷浪效果, 再将该算法与上文算法叠加, 从而得出带卷浪的海浪。

改进算法的核心:

由于一个卷浪的生成是一个过程, 因此我们要在一段时间内追踪需要重画的范围, 并使之成为时间和空间上的连续、光滑的变化过程。鉴于卷浪本身的特性, 我们将一个卷浪的生命周期分为 3 段:

- (1) 从正常状态变为卷起状态, 直到卷起的浪尖下探碰到水面为止。
- (2) 从浪尖接触到水面到该范围段整体移动一定距离。
- (3) 该段范围回退一定的长度, 并在这段时间内逐渐恢复到按照 Fournier 模型所计算出的结果, 同时在这个阶段的起点开始另一个卷浪。

我们知道, 经典 Fournier 模型的实现(V 为风速, 已知)^[5,6]:

$$X = X_0 + r \times \cos(\kappa X_0 + \omega t) \quad (1)$$

$$Y = Y_0 + r \times \cos(\kappa X_0 + \omega t) \quad (2)$$

$$\kappa = \frac{K_\infty}{\sqrt{\tanh(K_\infty h)}}, \quad \kappa_\infty = \frac{\omega^2}{g} \quad (3)$$

$$r = 1.5 \times 7.065 \times 10^{-3} V^{2.5} \quad (4)$$

$$\omega = \frac{g}{V} \sqrt{\frac{2}{3}} \quad // V \text{ 风速, } g \text{ 重力加速度} \quad (5)$$

根据以上公式就可以算出最基本的 Fournier 模型, 在此基础上进行修改。

(1) 定义一个 WaveSegment 结构, 用于存储波浪有正常状态变为卷浪状态的起始索引(我们用一个 WaveLine 数组来存储波列), 状态变化的规则是由尾至头扫描整个波列数组, 将发现的第一个波峰所在的高于水平面的部分作为一段, 初始化其数据, 设置该状态的总时间为一个周期, 在这一个周期的时间之内, 波将卷起再落下, 若在不到一个周期的时间内波峰已经落下, 则进入下一个阶段。在该阶段内, 我们将用两段 Bezier 曲线分别对波的波前和波后进行计算, 两段的分界点为首尾索引的中点, 以波前计算为例首尾坐标已知, 为了使用 Bezier 曲线计算波形, 还需要另外的两个点, 这两个点我们通过首尾两点的斜率变化来获得, 首尾点斜率变化通过对 Fournier 模型所得到的数据进行 y 方向的伸缩变换求得。

(2) 此阶段也将持续时间不确定, 端点斜率相应的根据长度进行变化(从某个值变到 0, 起始值的大小跟上一阶段端点的最终只相同), 从而用一个 Bezier 曲线将浪涌表现出来, 当范围内的所有的点都随着波的运动而到达岸边时进入第三个阶段, 同时另外产生一个 WaveSegment 结构用于记录波的下次卷起。从时间上看, 下一个波的卷和上一个波的回退在时间上是重合的, 这样从视觉效果上看起来出现了波的产生和消失。

(3) 该阶段持续时间为 0.8 个周期, 在此段时间内波形将逐渐过渡到正常的用 Fournier 模型计算的波形。该阶段完毕之后, 将第二个波段的数据拷贝到该段之中, 然后开始下一个卷浪的计算。

该算法的难点就是如何保证改进算法所得到的结果和原模型结果的平滑过渡, 以及所选择范围在整个生命周期内的光滑、连续的过渡。

(下转第 1360 页)

熟的基于 Ajax 技术的 WebGIS 产品。在客户端的放大、缩小、漫游等操作引起的地图的改变,从服务器传来的不是整个地图的图片,而是一个处理图片变化的 XML 文件,交由 Ajax 引擎进行进一步的显示处理。这样大大减少了网络流量,提高地图操作的反应灵敏度界面简洁功能强大。如图 2 所示用户可以在顶端的文本框中输入查询条件进行查询就像使用传统的 Google 搜索一样输入的文本可以是地名也可以是一句话如上海或者上海公园等。

例如,我们输入“上海公园”点击查询按钮则所有上海市内的公园则会被显示在左边的列表中,并将其中的前十个公园定位在地图上。在地图上点击任何一个公园的图标则会弹出对话框通过该窗口我们可以轻松获取以下信息该公园的地址电话等。点击“行车路线”链接在弹出的对话框中输入出发地则可以查出从出发地到达目的地的最佳路径。

在整个 Google Maps 的使用过程中很少遇到刷新整个页面的情况,大多数的操作只会对我们所想要的东西进行更新,所以在整个使用过程中如同使用桌面系统一样简洁而又快捷。这就是 Ajax 异步请求的好处。在不久的将来使用 Ajax 技术会使 WebGIS 将会越来越普遍而且功能也会日臻完善和强大。

5 结语

人们对开发具有高度互动性、丰富用户体验以及功能强大的客户端的追求是永不停止的。基于 Ajax 的 WebGIS 具有不受浏览器限制、访问速度快、可以实现功能扩充、可以在客户端和服务器之间异步通讯等优点。基于 Ajax 技术的 WebGIS 将成为未来 WebGIS 发展的主流方向。

参考文献:

- [1] [美]Ryan Asleson, Nathaniel T.Schutta 等著,金灵等译.Ajax 技术基础[M].第一版人民邮电出版社,2006.
- [2] 杨志波.基于 Ajax 技术的 WEBGIS 研究与实现.[D].中国科学院研究生院(广州地球化学研究所),2006.
- [3] 赵淑玲等.WebGIS 二次开发中 JSP 与 ASP 的比较分析[J].测绘与空间地理信息..2006,(1):61- 63.
- [4] 徐丽丽,张永胜.Ajax 技术及其应用研究.计算机时代.[J].2007,(3):58- 60.
- [5] 栾绍鹏,朱长青.基于 Ajax 的 WebGIS 开发新模式.测绘工程.[J].2007,15(6):34- 37.
- [6] 徐卓揆,刘德钦,林宗坚.Ajax 技术在 WebGIS 中的应用.测绘信息与工程.[J].2007,(1):7- 9.
- [7] Dave Crane, Eric Pascarello, Darren James. Ajax 实战[M].北京:人民邮电出版社.2006.

(上接第 1357 页)

为了简化计算量,下面给出不带卷浪效果的水波效果仿真结果如下图 3 所示:

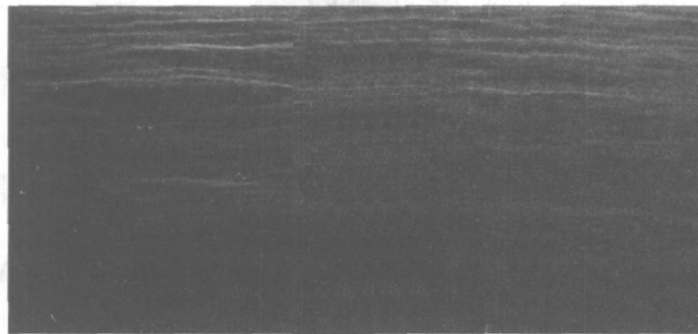


图 3

4 结束语

本文给出两种算法,具体分析如下:

(1)正余弦波叠加:该算法相对比较简单,在 CPU 为赛扬 1.2G,内存 256M, GforceFX5200 显卡上运行良好,缺点是较难作出逼真的海浪模拟效果,这是往往要运用纹理贴图进行完善并拟对纹理进行更新绘制。

(2)iWave 叠加卷浪:事实证明,该算法取的较逼真的效果,在不带卷浪的情况下绘制帧数在 20 帧/s,而加入卷浪计算后,绘制帧数将有所下降,一般为 14 帧/s,基本保证场景绘制的实时性和逼真性,缺点是计算较复杂,对运行硬件要求较高。

下一步是如何进一步提高光照真实感及完成人机交互界面设计,以提供不同参数下海浪波形的绘制。

参考文献:

- [1] Claes Johanson.Real-time water rendering[D].England: Lund University,2004.
- [2] 朱洪华.不规则海浪的仿真[J].电脑知识与技术,2007, 3(1): 202- 203.
- [3] 王科俊,姚绪梁,金鸿章等.海洋运动体控制原理[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2005.
- [4] 雒志利.水波理论及其应用[M].北京:科学出版社,2005.
- [5] 四维科技,丁展.Visual C++游戏开发技术与实例[M].北京:人民邮电出版社.2005.
- [6] 徐彬硕士学位论文.海洋波浪的动态可视化研究与实现[D].山东青岛:中国海洋大学,2006.