

# 借助 OpenGL 技术模拟水波动画

马文君

(中央民族大学 数学与计算机科学学院, 北京 100081)

**摘要:** 简要地介绍了 OpenGL 技术, 给出了一个模拟水波运动的快速算法, 即使用扰动方程的数值解来得到波形, 并通过多层近似, 使用方程特解的方法获取了很好的渲染速度. 该算法简单、方便, 用户可在程序中控制波的生成.

**关键词:** 快速算法; 水波; 编程; OpenGL

**中图分类号:** TP391    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1005-8036(2006)03-0271-04

近年来, 计算机图形学的发展突飞猛进并有着极为广泛的用途. 计算机图形学的发展使得三维表现技术得以形成, 所谓计算机三维图形就是指将用数据描述的三维空间通过计算转换成三维图像并显示或打印出来的技术, OpenGL 就是支持计算机三维图形的一个程序库. 在计算机图形学中, 模拟水流动画是一个很有意义的课题.

## 1 OpenGL 技术概述

OpenGL 是 Open Graphics Lib 的缩写, 是一套三维图形处理库, 也是该领域的工业标准; OpenGL 不是一种编程语言, 而是一种 API(Application Programming Interface). 作为一种 API, 它包括 120 多个图形函数, 适合于广泛的计算机环境, 从个人计算机到工作站和超级计算机, OpenGL 都能实现高性能的三维图形功能. OpenGL 独立于硬件, 独立于窗口系统, 在运行各种操作系统的各种计算机上都可用. 并能在网络环境下以客户/服务器模式工作, 是专业图形处理, 科学计算等高端应用领域的标准图形库. 它性能上表现得异常优越, 它包括建模、变换、光线处理、色彩处理、动画以及更先进的能力, 如纹理影射、物体运动模糊等. OpenGL 的这些能力为实现逼真的三维渲染效果、建立交互的三维景观提供了优秀的软件工具.

OpenGL 是一个高性能的图形开发软件包. 作为一个与硬件独立的图形接口, 它不提供与硬件密切相关的设备操作函数, 用户必须从点、线、面等最基本的图形单元开始构造自己的三维模型. OpenGL 中两种重要的数据类: 一是位图, 二是图像. 在进行水波渲染时需要对他们进行操作. 这两种数据都是以像素矩阵形式存储, 即用一个矩形数组来表示某一位图或图像.

在 VC.NET 下实现 OpenGL 编程需要在程序开始前对 VC.NET 的自动生成的工程做一些修改, 第一个要改的是消息循环, 第二个要改的是注册窗体类, 最后是初始化 OpenGL, 即获取绘图的设备环境, 为该设备环境设置像素格式, 创建基于该设备环境的 OpenGL 设备, 初始化 OpenGL 绘制场景及状态设置.

收稿日期: 2004-09-10

作者简介: 马文君(1983—), 女(回族), 河南固始人, 中央民族大学数学与计算机科学学院 04 届本科毕业生.

2 前人的方案

我们所收集到的研究水波动画的方法<sup>[1~10]</sup>,大体上可以分为四大类:

第一类:基于波的分析方法 这类方法直接构造参数曲面来代表水表面,参数曲面由波形函数表示,也就是说这一类方法通过直接模拟波属性来得到水波的水波图像,可以模拟雨点造成的水波,微风造成的涟漪和紊乱的短波峰,但是解决不了水流的形体的破碎问题.

第二类:基于物理模型的方法 基于物理模型的基本思路是用物理规律约束物体的运动,然后用图形学方法把物体形状渲染出来,这种方法可以保证物体的动态逼真性,也可以轻松地制作出逼真的动画来,这方面的典范是 Navier—Stokes 方程.它有很强的物理背景,是当今非线性科学研究中的重点和热点问题.若使用这种方法建立浅水波模型,再使用计算流体动力学的数值分析工具来求取方程数值解,这个方法过于复杂且对光影处理能力差.

第三类:基于粒子系统的方法 这类方法把流体看作离散的粒子集,粒子有一定的属性,使用这种方法人们成功地描述了瀑布、喷泉、水滴以及浪花飞沫.但是这种方法不能模拟水波.

第四类:基于光影处理的方法 这类方法专注于模拟水流的光影特效,能出色地模拟人们从水底和水上观察阳光照射在水波上形成的光与影现象.这方面的工作把注意力集中到如何模拟光线和水流的作用效果上来,无法兼顾水流的其他特性.

3 OPENGL 模拟水波的具体实施方案

3.1 OPENGL 模拟水波所面临的困难

水波有一系列特性,如扩散、衰减、折射以及反射等,我们需要了解这些特性以及我们所面临的问题,我们所面临的问题主要有:

(1)对波的模拟,水波是水流运动的关键属性,当水流受到各种外部及内部物体的作用时,会产生波,并且在水流内部传播,视觉上表现为水表面上的波纹和漩涡;

(2)光与影的处理,水是透明的,它的视觉印象很大程度上取决于周围的环境,另外水对光的折射作用使水中的光影效果复杂多变;

(3)水流形体的绘制,水的形状是不确定,易于改变,一方面,若把水的形状看成一个高度场表示的曲面,则无法表现水流的破碎以及卷曲的波纹,另一方面若把水看成由许多水粒子组成的点集,又面临如何进行可视化的问题;

(4)水流与外界物体的相互作用,当一个物体掉入水中或水内有物体在运动水流会受到怎样的影响.

3.2 采用的算法

为了模拟出真实的水波,我们采取了一种近似值的算法来计算波幅的公式.首先假设存在这样一个一次公式,可以在任意时刻根据某一个点周围前、后、左、右四个点以及该点自身的振幅来推算出下一时刻该点的振幅,那么,就有可能用归纳法求出任意时刻这个水面上任意一点的振幅.图 1 表明,某一时刻, X0 点的振幅除了受 X0 点自身振幅的影响外,同时受来自它周围前、后、左、右四个点(X1、X2、X3、X4)的影响(为了简化,我们忽略了其他所有点),这四个点对中心点的影响力可以说是机会均等的.假设这个一次公式为

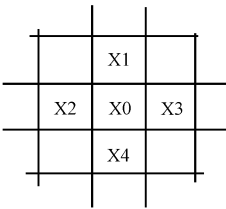


图 1 求解水波振幅  
Fig. 1 Solution for amplitude of ripple

$$x_0' = a(x_1 + x_2 + x_3 + x_4) + bx_0 \quad (1)$$

$a, b$  为待定系数,  $x_0'$  为  $X_0$  点下一时刻的振幅,  $X_0, X_1, X_2, X_3, X_4$  为当前时刻的振幅, 下面来求解  $a$  和  $b$ .

在水的阻尼为 0 的理想条件下, 水的总势能将保持不变, 也就是说在任何时刻, 所有点的振幅的和保持不变. 有

$$x_0' + x_1' + K + x_n' = x_0 + x_1 + K + x_n$$

将每一个点重复公式(1)的计算, 然后代入上式, 得到

$$(4a + b) \times 0 + (4a + b) \times 1 + \Delta(4a + b) \times x_n = x_0 + x_1 + \Delta x_n \geq 4a + b$$

找出一个最简解:  $a = 1/2, b = -1$

因为  $1/2$  可以用移位运算符“>>”来进行, 不用进行乘除法, 所以这组解是最适用, 而且是最快的. 最后得到公式

$$x_0' = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4)/2 - x_0$$

注意上式可以推广到下面的一般结论: 已知某一时刻水面上任意一点的波幅, 那么在下一时刻, 任意一点的波幅就等于与该点紧邻的前、后、左、右四点的波幅的和除以 2, 再减去该点的波幅. 然而, 上面公式仅仅表达了一个无阻尼的等幅震荡, 由于水在实际中是存在阻尼的, 所以还需要对波幅数据进行衰减处理, 让每一个点在经过一次计算后, 波幅都比理想值按一定的比例降低. 这个衰减率经过测试, 用  $1/32$  比较合适, 也就是  $1/2^5$ , 可以通过移位运算很快的获得.

### 3.3 实现渲染目标

首先要建立两个与水池图像一样大小的数组  $\text{buf1}[\text{PoolWidth} * \text{PoolHeight}]$  和  $\text{buf2}[\text{PoolWidth} * \text{PoolHeight}]$  ( $\text{PoolWidth}$  = 水池图像的像素宽度、 $\text{PoolHeight}$  = 水池图像的像素高度), 用来保存水面上每一个点的前一时刻和后一时刻波幅数据, 因为波幅也就代表了波的能量, 我们称这两个数组为波能缓冲区. 水面在初始状态时是一个平面, 各点的波幅都为 0, 所以, 这两个数组的初始值都等于 0.

根据算出的波幅数据对页面进行渲染, 因为水的折射, 当水面不与视线相垂直的时候, 所看到的水下的景物并不是在观察点的正下方, 而存在一定的偏移. 偏移的程度与水波的斜率, 水的折射率和水的深度都有关系, 如果要进行精确的计算, 显然是很不现实的. 同样, 我们只需要做线性近似处理就行了. 因为水面越倾斜, 所看到的水下景物偏移量就越大, 所以可以近似的用水面上某点的前后、左右两点的波幅之差来代表所看到水底景物的偏移量.

在程序中, 用一个页面装载原始的图像, 用另外一个页面来进行渲染. 先用 `Lock` 函数锁定两个页面, 取得指向页面内存区的指针, 然后用根据偏移量将原始图像上的每一个像素复制到渲染页面上.

增加波源的情形, 俗话说: 无风不起浪, 为了形成水波, 必须在水池中加入波源, 可以想象成向水中投入石头, 形成的波源的大小和能量与石头的半径及扔石头的力量都有关系. 只要修改波能数据缓冲区  $\text{buf}$ , 让它在石头入水的地点来一个负的“尖脉冲”, 即让  $\text{buf}[x, y] = -n$ . 经过实验,  $n$  的范围在 (32~128) 之间比较合适. 控制波源半径的方法是以石头入水中心点为圆心, 画一个以石头半径为半径的圆, 让这个圆中所有的点都来这么一个负的“尖脉冲”就可以了 (这里也做了近似处理).

所有的程序都是在 VC.NET 下调试通过, 并获得了很好的实时水波渲染的效果. 由于受到算法的限制, 反复观察这个动画程序, 水波初期生成时的效果并不够真实, 但后期叠加效果是令人满意的. 同时可以看到对这个算法加以改进可以实现诸如烟雾、大气、阳光等特技效果, 相信这些效果会大大加强 3D 游戏的视觉效果. 这次设计中关于 3D 建模、光线模拟、纹理渲染等论文中并未提及, 其实这些在设计中也占有很大份额.

## 4 结束语

出与客观世界十分类似的三维景象,还可以进行三维交互、动作模拟等等,在图形学方面应用十分广泛.本文阐述了模拟水波的核心方法以及核心程序,在此基础上可根据实际条件进一步扩展,使其满足工作的需要.

### 参考文献:

- [1] 童若锋,汪国昭.用于动画的水波造型[J].计算机学报,1996,19(8):594—599.
- [2] KARL SIMS. Particle Animation and Rendering Using Data Parallel Computation[C]// *SIGGRAPH*. 1990.
- [3] DARWYN R, PEACHEY. Modeling Waves and Surf[C]// *SIGGRAPH*. 1986, 65—74.
- [4] ALAIN FOURNIER. A Simple Model of Ocean Waves[C]// *SIGGRAPH*. 1986, 75—84.
- [5] 忻孝康,刘儒勋,蒋伯诚.计算流体动力学[M].北京:国防科技大学出版社,1989.
- [6] 张梦萍.浅水波问题的数值方法研究和应用[D].合肥:中国科学技术大学博士学位论文,1998.
- [7] 谭维炎.计算浅水动力学—有限体积法的应用[M].北京:清华大学出版社,1998.
- [8] 陈前华.水波的计算机动画模拟[D].合肥:中国科学技术大学博士学位论文,2001.
- [9] 焉来斌,李思昆,张秀山.虚拟海战场景中的海浪实时建模于绘制技术研究[J].计算机研究与发展,2001,38:568—573.
- [10] 朗锐.借助 DirectDraw 技术实现对水波的计算机模拟[J].计算机世界,2002(1).

## Simulation on the Ripples of Water Animation with OpenGL

MA Wen-jun

(School of Mathematics and Computer Science, Central University for Nationalities, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In this paper, the author introduces the OpenGL technique. Then the author present a fast algorithm to get the true ripple. The numerical solution of the perturbation equation is used to get a form. The author adopts a special solution of the equation, then get a high drawing speed. This method is simple and convenient, customers can control a ripples of water in program, and can get different appearance ripple by modifying parameter.

**Key words:** speed arithmetic; ripple; programming; OpenGL

[责任编辑:杨 玉]

### 科学人物

## 动用极限思想创立割圆理论的数学家——刘徽

刘徽是中国魏晋时期杰出的数学家,中国古典数学理论的奠基者之一.因史书无传,故其籍贯和生卒年月不详.据宋代算学祀典曾封刘徽为淄乡男一事推测,其籍贯可能在今山东邹平县一带.

刘徽从小对中国传统数学名著《九章算术》极感兴趣,长大后对它进行了反复的研究.于魏队留王景元四年(公元 263 年)写成《九章算术注》一书,对《九章算术》作了详细而系统地注释、整理和阐发.注文不仅运用“析理以辞”的逻辑方法,对《九章算术》中的大量梗和算法进行了定义和证明,从而为中国古典数学奠定了理论基础;而且还提出了许多《九章算术》原来所没有的数学思想和方法,为中国数学思想的发展作出了新的贡献.其中最值得称道并在数学史上影响深广的,是他运用极限思想所创立的割圆理论.