

文章编号: 2095-2163(2020)05-0043-04

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

动态海面模拟关键技术研究

刘淑婉, 郑凯东

(西安石油大学 计算机学院, 西安 710065)

摘要:近年来有关海洋开发和海洋保护方面的课题越来越受到国家的关注与重视。如何利用现有的技术最大程度地模拟出真实的动态海面,是目前国内外海洋模拟研究的关键。本文对凹凸纹理中的法线贴图映射技术加以改进,减小通过不同视角观察到海面的视觉误差,同时结合多个几何模型 Gerstner 波,实现海面不规则的动态效果。

关键词: 动态海面; 法线贴图映射; Gerstner

Research on Techniques of Dynamic Sea Surface Simulation

LIU Shuwan, ZHENG Kaidong

(School of Computer Science, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

[Abstract] In recent years, the topics related to marine development and protection have received increasing attention from the state. How to use the existing technology to simulate a real dynamic sea surface to the greatest extent is the key to research of marine simulation at home and abroad. In this paper, the Normal Mapping technology is improved to reduce the visual error of the sea surface viewed from different perspectives. At the same time, it combines the Gerstner waves of geometric models to achieve the dynamic effect of irregular sea surface.

[Key words] Dynamic sea surface; the Normal Mapping; Gerstner

0 引言

动态自然景观类场景的模拟一直是计算机图形学的一个研究热点,其中就包括关于流体的研究,目前研究模拟比较多的流体场景主要有:烟、云和水等。地球表面约70%的区域被海洋所覆盖,与其他自然场景模拟相比,海洋模拟在军事、科研方面的应用显得更为重要。海洋场景作为水面场景之一,其运动极其复杂,海面的波动主要是由风与海面之间相互作用,波浪内部涡动、破碎等形成,这使得动态海面成为高度随机、无规则的自然现象,模拟起来较为困难。

对于动态海面的绘制,国内外研究存在着各种各样的建模方法。Mihalef 将这些模拟方法归结为两大类:基于物理模型的方法和基于构造的方法^[1]。本次研究选取使用最为普遍的方法进行分析研究,主要包括:(1)基于凹凸纹理映射的建模方法;(2)基于 Gerstner 模型的建模方法。

1 凹凸纹理映射技术

要表现出真实海水外观,除了对场景进行建模,还需要对所建模型进行纹理贴图。而凹凸纹理映射是纹理贴图的一种应用,实质是混合映射,通常用于

一些表面粗糙复杂的模型。相较于纹理映射,它并不是通过普通的颜色纹理贴图,将高清外观图纹按照顶点匹配的映射方式粘贴到模型表面,而是改变或是扰动其法线的方向,光线模型中由于法线方向的改变,物体模型表面光照的明暗效果也会受到影响^[2]。实际凹凸纹理映射并没有改变模型顶点位置,真正实现模型的动态模拟,而是在视觉效果上让用户认为是由于物理运动造成模型表面凹凸不平的。凹凸纹理映射实现的方法主要有三种:法线贴图映射(Normal Mapping)、视差贴图映射(Parallax Mapping)、浮雕贴图映射(Relief Mapping),本文主要利用法线贴图映射技术。

1.1 切线空间

大多数凹凸贴图映射方法在实现过程中都是让法线贴图存储在切线空间下的坐标系中。对于模型上的任意一点,切线空间就是以这一点为原点构建一个自身坐标系,已知它的法线方向,并让这个法线作为坐标系中的Z轴,再选择两条过该点的切线作为X、Y轴,其中一条为切线(Tangent),另一条为副切线(Bit-Tangent)。过点的切线有很多,要选取正确的切线和副切线为轴,可以通过模型三角网格

作者简介: 刘淑婉(1997-),女,硕士研究生,主要研究方向:可视化计算、自然景物模拟;郑凯东(1964-),男,硕士,副教授,主要研究方向:图形学与虚拟现实、程序设计、计算机基础教育。

通讯作者: 刘淑婉 Email: wanwanliu1867@163.com。

收稿日期: 2020-03-24

上的纹理坐标 (u, v) 。切线空间的切线向量实际上是模型空间坐标相对于 u 的变化率,副切线向量则是相对于 v 的变化率^[3]。假设现有一个三角形网格,表面法线向量为 $N \rightarrow$,计算出三角形网格中的任意两边,记作 \vec{v}_1, \vec{v}_2 ,式(1)。

$$\begin{cases} \vec{v}_1 = \Delta u_1 t + \Delta v_1 b, \\ \vec{v}_2 = \Delta u_2 t + \Delta v_2 b. \end{cases} \quad (1)$$

根据式(1),可推导出其切线向量 \vec{T} 和副切线向量 \vec{B} ,式(2)。

$$\begin{bmatrix} \vec{T} \\ \vec{B} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta u_1 \Delta v_2 - \Delta u_2 \Delta v_1} \begin{bmatrix} \dot{e} \Delta v_2 & -\Delta v_1 \dot{u} \\ \dot{e} - \Delta u_2 & \Delta u_1 \dot{u} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{e}_1 \\ \dot{e}_2 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

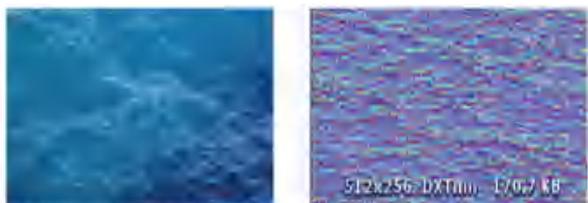
$\vec{T}, \vec{B}, \vec{N}$ 作为坐标轴必须两两正交,因此还需要对 \vec{T}, \vec{B} 进行施密特正交化,公式(3)。

$$\begin{aligned} \vec{T}' &= \vec{T}_{N_{perp}} = \vec{T} - \vec{T}_{N_{proj}} \\ \vec{B}' &= \vec{B} - \text{dot}(\vec{B}, \vec{T}')\vec{T}' - \text{dot}(\vec{B}, \vec{N})\vec{N} \end{aligned} \quad (3)$$

最终得到的 $\vec{T}', \vec{B}', \vec{N}$ 就是切线空间的坐标轴向量。切线空间的优势在于其复用率、自由度很高,主要是因为切线空间不像模型空间中记录绝对的法线信息而是相对位置的,可以把纹理再次应用到其他物体的网格上,并且还可以通过移动纹理的 uv 坐标来实现一个凹凸不平的效果,这种通过 uv 坐标偏移类似动画的方法在模拟水面场景时就会经常用到。

1.2 法线贴图映射技术

在法线贴图映射方法中,需要提供两张纹理,原始材质贴图和法线纹理贴图。法线纹理贴图作用就是保存要模拟的高度细节模型的法线信息,将这张法线纹理贴在低细节模型上,使低细节模型表现出高细节模型的表面特征,但实际内部并没有变化。通常法线纹理贴图呈偏蓝紫色,如图1所示。



(a) Seawater Texture (b) Seawater Normal Texture

图1 原始材质贴图与法线纹理贴图

Fig. 1 Original Texture And Normal Texture

法线贴图映射的原理就是改变模型上的点在切线空间存储的法线信息,通过用原始材质贴图存储的纹理及颜色信息和法线纹理贴图存储的法线信息

来做光照的相关计算,进行渲染^[4]。实际编码的过程中,最重要的一个环节就是将视线、法线、光线统一到同一个空间下,同一空间既可以是实际的模型空间又可以是切线空间。大多数情况都采用将切线空间下的法线转换成实际模型空间下的法线,在当下空间中直接进行光照计算。

将公式(3)中得到的 $\vec{T}', \vec{B}', \vec{N}$,构造过渡矩阵 $\vec{M} = (\vec{T}', \vec{B}', \vec{N})$ 。通过过渡矩阵与两个法线之间的关系如式(4)所示。可求出实际模型空间下的法线向量 $[X_\omega \ Y_\omega \ Z_\omega]$ 和切线空间下的法线向量 $[X_t \ Y_t \ Z_t]$ 。

$$\vec{M} * \begin{bmatrix} \dot{e} X_t \\ \dot{e} Y_t \\ \dot{e} Z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{e} X_\omega \\ \dot{e} Y_\omega \\ \dot{e} Z_\omega \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$[X_t \ Y_t \ Z_t] * M^T = [X_\omega \ Y_\omega \ Z_\omega].$$

1.3 uv偏移的法线贴图映射技术

法线贴图技术模拟海面代码最为简单,渲染速度快,但仍存在一些不足之处。假设,图2中红线代表存储海面上的凹凸信息,黑线代表模型上的三角网格平面。如果采用法线贴图映射方法,当人眼看向点B时,法线贴图技术是根据B点的纹理坐标来对应法线信息,最终人眼看到的是由B点对应的C点处的效果。然而此时,人眼看到的应该是视线与凹凸表面交汇处A点处的效果,而不是C点的,这就产生了视觉差异。当人眼与平面恰好垂直时,即C点与A点重合,此时使用法线贴图会比较理想,不会产生视差。对于其他角度的视线情况,法线贴图生成的效果就不太符合真实的视觉感受,为了让人眼看出A点的效果,这种情况下就不能使用B点处纹理坐标对应的法线信息,而是应该使用D点处的纹理坐标,才能获取对应A点的法线信息,此时可以通过对B点处的纹理坐标 (u, v) 偏移来形成视觉上的高低视差,给人以真实的感觉。

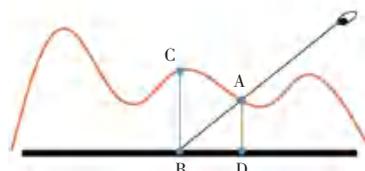


图2 倾斜视角观测凹凸表面视线原理图

Fig. 2 Line of sight of concave and convex surface observed from oblique angle

B点到D点的纹理坐标偏移应该是朝着视野在切线空间下的方向。其偏移公式(5)为:

$$p.uv = \frac{p.uv + viewDir.xy * height * factor}{viewDir.z}. \quad (5)$$

2 Gerstner 模型

通常对于平静海面的模拟,可以直接选择正弦函数或者余弦函数进行模拟。但对于具有明显波峰的海面,这两个函数就不是很合适了。经典的 Gerstner 模型是国外应用于海水模拟最广泛的一种几何模型。从动力学的角度来看, Gerstner 模型模拟的是海面上各个质点的运动,各个质点会随着水波的运动产生周期性运动。与余弦函数图像相比, Gerstner 模型通过将点向波峰处挤压,使顶点处变得比较尖锐,避免了生成的波峰很平滑的缺点,如图 3 所示。其次 Gerstner 模型还有一个特点,用它可以对基元波的 Gerstner 波法向量进行较为简单的求解,对仿真系统中光照模型的引入提供了便利^[5]。

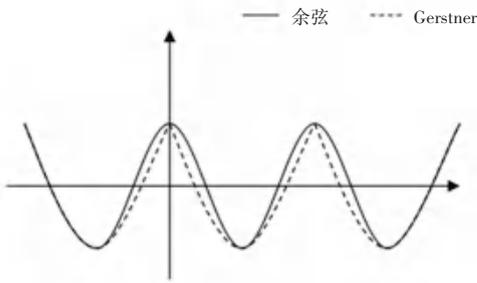


图 3 余弦波与 Gerstner 波的波形比较

Fig. 3 Comparison of Cosine wave and Gerstner wave

Gerstner 波函数为公式(6):

$$P(x, y, t) = \begin{cases} x + \sum (Q_i A_i * D_i x * \cos(\omega_i D_i \cdot (x, y) + \varphi_i t)) , \\ y + \sum (Q_i A_i * D_i y * \cos(\omega_i D_i \cdot (x, y) + \varphi_i t)) , \\ \sum (A_i \sin(\omega_i D_i \cdot (x, y) + \varphi_i t)) . \end{cases} \quad (6)$$

在 Unity 中是三维坐标,针对于式(6)的参数 x, y 轴其实就相当于 Unity 中的 x, z 轴,把式(6)的 y 替换成 z ,得到在 Unity 实现时用到的函数,公式(7)。

$$P(x, z, t) = \begin{cases} x + \sum (Q_i A_i * D_i x * \cos(\omega_i D_i \cdot (x, z) + \varphi_i t)) , \\ z + \sum (Q_i A_i * D_i z * \cos(\omega_i D_i \cdot (x, z) + \varphi_i t)) , \\ \sum (A_i \sin(\omega_i D_i \cdot (x, z) + \varphi_i t)) . \end{cases} \quad (7)$$

其中, A 表示振幅, D 表示波的方向, ω 控制波长的参数, φ 波的初相, Q_i 用来控制波的陡度也就是波峰的尖锐程度,它的取值范围必须要控制在 $[0, 1]$ 区间内。当其值为 0 时,呈现的是普通正弦波叠加后的波形图像;在 $(0, 1)$ 区间内,则会形成波峰不断尖锐的波形效果;而 Q_i 最大只能取到 1,此时是波峰尖锐程度的临界值,如果大于 1 的,则在波峰

处会形成环状^[6]。

模拟海水运动波形后,还需要有与周围环境的一些交互,尤其是与光照的交互,这样模拟产生的效果才会更加真实。通过凹凸纹理映射中有关光照的一些计算可知,需要法线信息,这里也是一样。由于 Gerstner 波是一个显式函数,可直接求得水面上任一质点的法线向量。通过分别对 x, y 的偏导即可求得副切线向量 \vec{B} 以及切线向量 \vec{T} ,如公式(8)、(9)所示,再求二者差乘最终得到法向量 \vec{N} ,公式(10)。

$$\vec{B} = \begin{cases} 1 - \sum Q_i * D_i \cdot x^2 * \omega_i * A_i * \sin(\omega_i * D_i \cdot (x, y) + \varphi_i t) , \\ - \sum Q_i * D_i \cdot x * D_i \cdot y * \omega_i * A_i * \sin(\omega_i * D_i \cdot (x, y) + \varphi_i t) , \\ \sum D_i \cdot x * \omega_i * A_i * \cos(\omega_i * D_i \cdot (x, y) + \varphi_i t) . \end{cases} \quad (8)$$

$$\vec{T} = \begin{cases} - \sum Q_i * D_i \cdot x * D_i \cdot y * \omega_i * A_i * \sin(\omega_i * D_i \cdot (x, y) + \varphi_i t) , \\ 1 - \sum Q_i * D_i \cdot y^2 * \omega_i * A_i * \sin(\omega_i * D_i \cdot (x, y) + \varphi_i t) , \\ \sum D_i \cdot y * \omega_i * A_i * \cos(\omega_i * D_i \cdot (x, y) + \varphi_i t) . \end{cases} \quad (9)$$

$$\vec{N} = \begin{cases} - \sum D_i \cdot x * \omega_i * A_i * \cos(\omega_i * D_i \cdot (x, y) + \varphi_i t) , \\ - \sum D_i \cdot y * \omega_i * A_i * \cos(\omega_i * D_i \cdot (x, y) + \varphi_i t) , \\ 1 - \sum Q_i * \omega_i * A_i * \sin(\omega_i * D_i \cdot (x, y) + \varphi_i t) . \end{cases} \quad (10)$$

3 实验结果

根据以上的方法,在 Unity5.0 平台上使用 C# 以及 OpenGL 进行绘制。通过判断视角的不同采用不同的凹凸纹理映射技术,图 4 是绘制成果。

从图 4 可以看出,使用法线贴图映射技术,人眼可直观感受到海面上是有所波动的,而且用该方法渲染速度也比较快,在一定程度上实现了视觉上的凹凸效果。观察远处海平面,可以发现海面波动还是处于同一平面,实际海面本身还是静止的,不会与其他物体交互产生碰撞,仅仅在视觉上让人产生海面的动态效果,这种方法一般使用在普通游戏的大范围装饰性海水场景中。

使用 Gerstner 波模型进行模拟操作,单个 Gerstner 波所形成的海面具有动态性,但波形较为单一,具有重复性。通过多个 Gerstner 波叠加,使模

拟出的海面更加具有随机效果,但光影效果不是特别明显,其渲染效果如图5所示。



(a) 视线垂直于海面 (b) 视线倾斜于海面

(a) The line of sight is perpendicular to the sea (b) The line of sight slanted to the sea

图4 基于法线贴图映射技术生成的海面

Fig. 4 Sea surface generated based on Normal mapping



(a) 单个 Gerstner 波 (b) 多个 Gerstner 波叠加

(a) A single Gerstner wave (b) Multiple Gerstner wave

图5 基于 Gerstner 波模型生成的海面

Fig. 5 Sea surface generated based on Gerstner

不论使用凹凸纹理映射方法还是 Gerstner 模型, 都有各自的优缺点。现将这两种方法结合在一起, 既弥补了凹凸纹理映射不能实现真正的动态效果并产生交互行为, 同时也能改善 Gerstner 模型产生光影效果不明显的问题。两者结合后的模拟效果如图6所示。



图6 基于凹凸纹理映射与 Gerstner 结合后生成的海面

Fig. 6 Sea surface generated by combining Bump Mapping with GerstnerK

由图6可看出海平面真实地具有了动态效果, 同时海面上海波的明暗效果也表现了出来。

4 结束语

本文针对两种相对简单的模拟海水方法进行了相应改进。对于凹凸纹理映射, 通过判断视角, 在不同视角下采用不同的映射技术。当视线与海面垂直时, 采取普通的法线贴图映射; 而当视线倾斜时, 则采取改进后的法线凹凸映射。利用 Gerstner 波模型对海水动态模拟, 通过叠加多个 Gerstner 波实现波形复杂、凹凸不平的动态海面效果。最后将这两种基本方法组合在一起进行海水模拟, 既实现了海水动态模拟交互, 又通过凹凸纹理映射技术改善了光影渲染效果。

本文提出的研究方法仅是对于大面积海水进行的模拟, 对于一个完整的海洋场景, 研究工作还需要考虑到光照、浪花细节和物体交互的模拟。

参考文献

- [1] Mihalef V, Metaxas D, Sussman M. [ACM Press the 2004 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium—Grenoble, France (2004.08.27 - 2004.08.29)] Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, - SCA '04 - Animation and control of breaking waves [M]. Eurographics Association, 2004.
- [2] Anouar Ragragui, Adnane Ouazzani Chahdi, Akram Halli, Khalid Satori. Revolution Mapping with Bump Mapping Support [J]. Graphical Models, 2018, 100.
- [3] 张辉, 李应岐, 敬斌, 赵方舟, 陈春梅. 空间曲线的切线计算方法 [J]. 数学学习与研究, 2015(21): 92.
- [4] 张婕, 成彬, 王晓明, 周竞涛. 法线式凹凸映射在分块纹理映射中的应用 [J]. 生物医学工程学杂志, 2014, 31(04): 899-904.
- [5] Anatoly Abrashkin. Unsteady Gerstner waves [J]. Chaos, Solitons and Fractals: the interdisciplinary journal of Nonlinear Science, and Nonequilibrium and Complex Phenomena, 2019, 118.
- [6] 张文桥. 动态海浪建模与仿真的关键技术研究 [D]. 哈尔滨工程大学, 2017.

(上接第42页)

预测数据进行统计分析, 发现在新线开通后期, 新线对直接连接的站点仍保持分流的影响, 且由于用地性质较为成熟, 故而不会产生较大的增长客流, 而对于周边站点的分流效果逐渐减弱^[7], 并一定程度上增加周末时段商业娱乐出行的客流, 但会导致线路整体自然增长率有所减缓。

参考文献

- [1] 程涛, 周峰, 郦海通, 等. 西安地铁2号线南段运营初期客流预测 [J]. 都市轨道交通, 2015, 28(5): 45-49.

- [2] 申岷. 城市轨道交通客流预测系统设计与实现 [D]. 西南交通大学, 2017.
- [3] 求森. 基于小波分析和神经网络的城市轨道交通客流时间序列预测 [D]. 北京交通大学, 2017.
- [4] 白丽. 城市轨道交通常态与非常态短期客流预测方法研究 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2017, 17(1): 127-135.
- [5] 姚恩建, 周文华, 张永生. 城市轨道交通新站开通初期实时进出站客流量预测 [J]. 中国铁道科学, 2018, (2): 119-127.
- [6] 王大蕾. 成网条件下城市轨道交通 OD 分布预测模型研究 [D]. 北京交通大学, 2013.
- [7] 汪波, 战明辉, 鲁放. 城市轨道交通新线开通对既有有线网运营的影响 [J]. 都市轨道交通, 2012, 25(6): 60-64.