

三维卡通海浪动画建模*

方建文¹⁺,², 于金辉¹

¹(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 浙江 杭州 310058)

²(衢州学院信息与电子工程系, 浙江 衢州 324000)

Model and Animation of Ocean Wave in Cartoon Style

FANG Jian-Wen¹⁺, YU Jin-Hui²

¹(State Key Laboratory of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

²(Department of Information and Electronic Engineering, Quzhou College, Quzhou 324000, China)

Abstract: A model for 3D cartoon ocean wave modeling and rendering is presented. First, we construct a series of cartoon ocean wave profiles by use of Bezier curves, then, we construct individual ocean waves by selecting some profiles and interpolating them with the spline. The wave foam is modeled with control points interpolated with the spline based on hand-drawn samples. To render the foam, we construct some belt-like surfaces on wave peaks and map the foam textures onto them. Our model is able to preserve the handcrafted look of ocean waves and offers flexible control over the speed of wave movement, distance between two neighboring waves and sizes of the foam, as demonstrated by examples in the paper.

Key words: cartoon animation; ocean wave; modeling; computer animation

摘要: 提出一个高效的三维卡通海浪动画模型。首先构造一组海浪曲面在关键位置上的骨架, 再对这些骨架进行插值得到某时刻的海浪曲面。海浪曲面的动态则是通过一个动态控制函数选择相应的关键骨架并对其进行组合来生成时变的海浪曲面。卡通浪花以及水面水纹形状通过 Bezier 曲线对一些控制点插值来构造其模型库, 在动画生成期间, 将它们按照预定规则放置到海浪锋头上。我们的模型不仅能保持海浪的手绘卡通风格, 还能方便地对海浪运动速度、海浪间距以及浪花大小进行参数调控, 如文中给出的例子所示。

关键词: 卡通动画; 海浪; 建模; 计算机动画

中图法分类号: TP274 文献标识码: A

1 引言

波涛汹涌的海浪是海洋中最为常见和壮观的景象之一, 关于海浪的建模和绘制是计算机图形学的一个重要研究课题。在海浪真实感绘制方面, Fouriner[1]等基于 Gerstner 模型, 通过一个摆线方程来生成具有一定真实感的海浪场景。Tessendorf[2]、Jessen[3]利用海洋统计模型, 通过 FFT(快速傅里叶变换)来合成海浪的高度场, 该方法无法生成卷曲的海浪。Frank Losasso[4]用 Level set 和 SPH 相结合的方法来模拟大面积的水体

* Supported by the State Key Program of National Natural Science Foundation of China under Grant No. 60933007, (国家自然科学基金重点项目); the Key Technology R&D Program of China under Grant No. 2007BAH11B02. (国家科技支撑计划)

作者简介: 方建文(1972-),男,浙江江山市人,博士研究生,副教授,主要研究领域为计算机动画,GPU 图形加速处理;于金辉(1960-),男,博士,研究员,主要研究领域为计算机动画,数字艺术。

和水花泡沫,取得逼真的海浪效果。由于卡通动画中的海浪在形态上以及动态上都是风格化的,上述生成真实感海浪的方法很难用于卡通动画海浪生成。

近几年来有少数研究人员开始有关卡通流水效果的计算机建模研究。于等用随机正弦波合成卡通流水[5], Yu 等用样条曲线构造卡通流水浪花的形状并在 CAVE 中显示出立体卡通流水效果[6]。陈[7]等提出一个卡通流水框架生成与电视动画画质相当的流水动画。Di Fiore[8]和 Thornton[9]等分别用粒子生成卡通喷水和大水冲击礁石的动画,其缺点是生成的喷水动画具有强烈的粒子感觉,缺乏手工绘制卡通流水效果的美感与力量感。Eden[10]等把流体模拟的水面作为输入,然后对流体表面用轮廓线以及平坦颜色绘制得到卡通化的流水效果。这种运用流体模拟的方法其动态是真实的,但形态上缺乏手工绘画感觉。于[11]等提出基于模板的方法来生成卡通水效果,包括流水,喷水以及涟漪。方[12]等提出一个混合式的三维卡通水模型,实现水与物体交互作用的卡通动画。这些工作基本上是生成不太剧烈的平稳流水波形,并不适合生成大的海浪场景。

海浪运动更加激烈,形态更加复杂,在卡通动画中动画师对其造型以及动态都进行风格化处理,图1给出我国经典动画哪吒闹海中的2幅海浪画面,从左到右海浪的激烈程度逐渐提高。

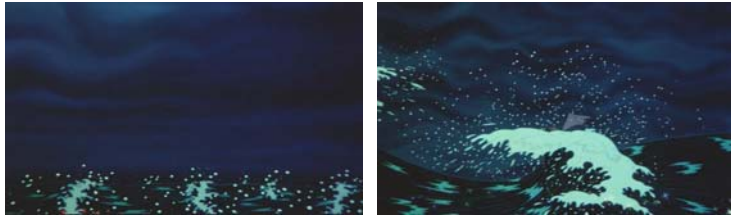


图1:手工绘制的卡通海浪

为了表现图1的手绘卡通风格海浪动画,我们提出一个混合式卡通海浪模型,如系统框图如图2所示。首先构造一组海浪曲面在关键位置上的骨架,再对这些骨架进行插值得到某时刻的海浪曲面。海浪曲面的动态则是通过一个动态控制函数选择相应的关键骨架并对其进行组合来生成时变的海浪曲面。卡通浪花以及水面水纹形状通过 Bezier 曲线对一些控制点插值来构造其模型库。在动画生成期间,将它们按照预定规则绘制到海浪锋头上。我们方法的特点在于既表现了卡通海浪的各种动画风格,又保持了手工绘画的艺术感。此外用户还可以方便的对海浪形态、变化周期、位置、速度等进行设置与调控,以适用于不同的动画场景需要。

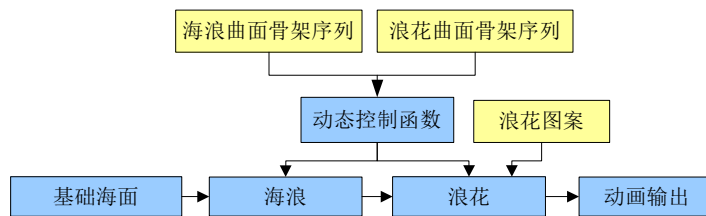


图2:三维卡通海浪建模与控制

2 基础海面

基础海面是指没有大涌起海浪的海水面。大涌起海浪是叠加在基础海面上表现的,所以在我们的系统中第一步是对基础海面建模。我们利用 Tessendorf 在[2]提出的海洋统计和经验模型构建基础海面,即通过 FFT(快速傅里叶变换)合成一个高度场来模拟海面及动态变化。首先在三维坐标系中的 XZ 水平面上一矩形区域进行网格点划分,设网格点的行列数分别为 M 和 N , L_{sx} 和 L_{sz} 分别为矩形区域的长度和宽度,我们用下面的公式生成每个网格点 $p=(nL_{sx}/N,mL_{sz}/M)$, 在 t 时刻 y 方向上的高度场:

$$h(p,t) = \sum_k \tilde{h}(k,t) \exp(ik \cdot p) \quad (1)$$

其中 $k = (-2\pi n/L_{sx}, -2\pi m/L_{sz})$, $n \in [-N/2, N/2]$, $m \in [-N/2, N/2]$ 。通过调整 $\tilde{h}(k, t)$ 中的振幅以及 L_{sx} 和 L_{sz} 大小可以调整控制海浪的起伏程度。

3 涌起海浪曲面

涌起海浪形状比较复杂, 难以用数学模型表达。我们把涌起海浪看成是一系列二维海浪切片组成, 通过 Bezier 曲线来拟合生成这些关键位置的切片形状, 最后通过对这些切片的排列和变化控制来表现不同的涌起海浪曲面。

3.1 海浪关键切片的生成

为了方便用户对海浪曲面进行设计和编辑, 我们在系统中提供了一个编辑工具, 用户可用其设定海浪关键切片数量、指定关键切片控制点, 系统用逐段的三次 Bezier 曲线对控制点插值生成海浪切片轮廓。设 P_1, P_2, P_3 和 P_4 是平面中的四个控制点, 利用下面公式计算得到一段曲线:

$$B(t) = P_0(1-t)^3 + 3P_1t^2(1-t) + 3P_2t(1-t)^2 + P_3t^3, t \in [0, 1] \quad (2)$$

如图 3 左所示。用户在工具界面中可以方便地移动控制点位置对关键切片形状进行编辑。图 3 右是一组由 8 个海浪关键切片组成的序列, 每个切片有 16 控制点。这个序列表示一个海浪从开始涌起到最后塌陷的完整变化过程。最后把每个切片的控制点坐标都归一化到 $[0, 1]$ 空间得到 $WP(i, j)$, 这里 $i(i=1, \dots, 8)$ 表示切片序号, $j(j=1, \dots, 16)$ 表示控制点序号。

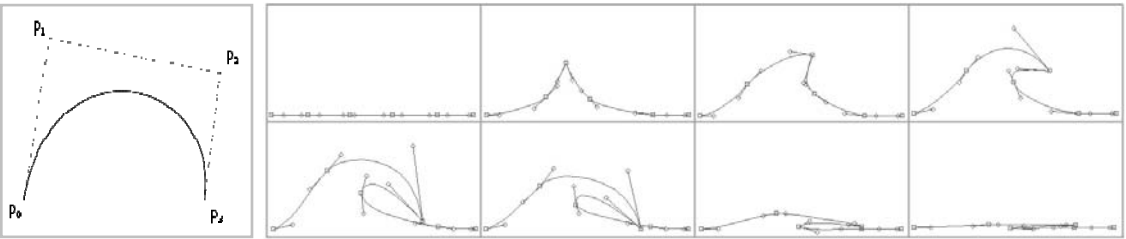


图 3: 三次 Bezier 曲线及生成的一组海浪关键帧

3.2 三维海浪及动画

在构造涌起海浪曲面时先读取关键切片库中的控制点 $WP(i, j)$, 再用 Bezier 曲线对 $WP(i, j)$ 进行插值得到切片序列 W_m (图 4 中 A 列)。为了得到变化更加平滑的切片序列, 我们在 W_m 中的对切片上对应点用样条曲线插值得到关键切片序列 $W_n(n=1, \dots, NB)$, 其中 NB 为切片数量。这个序列构成一个完整的海浪切片库, 下面介绍如何用这个切片库构成一个运动的海浪。

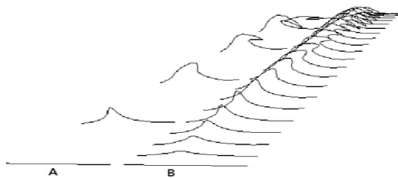


图 4: 涌起海浪切片序列库

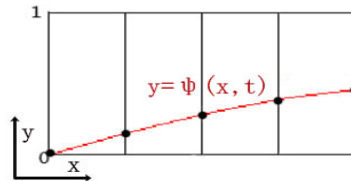


图 5: 切片选择函数

涌起海浪形状控制包括两个方面, 一方面是某海浪在空间不同位置的形状, 另一方面是该海浪在不同时间上形状的变化。为了实现海浪在不同空间和时间位置上的形状控制, 我们用一个切片选择函数 $y = \varphi(x, t)$ (图 5 所示)来实现, 其中 t 表示时间, x 表示切片位置, $0 \leq y \leq 1$ 。在时间 t , 位置 x 上应选 W_n 中的切片号为 $Int(\varphi(x, t)NB)$ (Int 为取整运算, NB 为 W_n 中的切片数量)。图 5 给出一个例子, 这里的竖线数量代表要选的切

片数量(在本例中为 5), 竖线与 $\varphi(x,t)$ 交叉点的值则用来计算所选切片的标记数。用户可以通过设定函数 $\varphi(x,t)$ 的形状来方便地构建出不同的海浪曲面形状, 图 6 给出某个时刻 4 个不同时刻的 $\varphi(x,t)$ 以及其对应的海浪曲面。

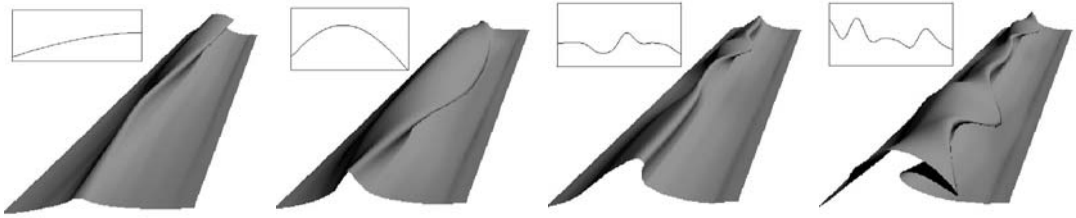


图 6: 不同的切片选择函数以及对应的海浪曲面

若要在某时间范围内生成海浪动画, 我们依然通过切片选择函数进行控制。设 t_1 和 t_2 时刻对应的切片选择函数分别为 $\varphi(x,t_1)$ 和 $\varphi(x,t_2)$, 对于当前时间 $t (t_1 < t < t_2)$ 的 $\varphi(x,t)$ 可以通过用下面的线性插公式计算得到:

$$\varphi(x,t) = \varphi(x,t_1) + \frac{t-t_1}{t_2-t_1} (\varphi(x,t_2) - \varphi(x,t_1)) \quad (3)$$

其中 $\varphi(x,t_1)$ 和 $\varphi(x,t_2)$ 可以通过一些连续函数、随机值或人工指定。图 7 给出一个从用上述插值方法得到的一个海浪变化曲面, 在图中最左和最右小矩形内的红色曲线分别对应 $\varphi(x,t_1)$ 和 $\varphi(x,t_2)$ 。

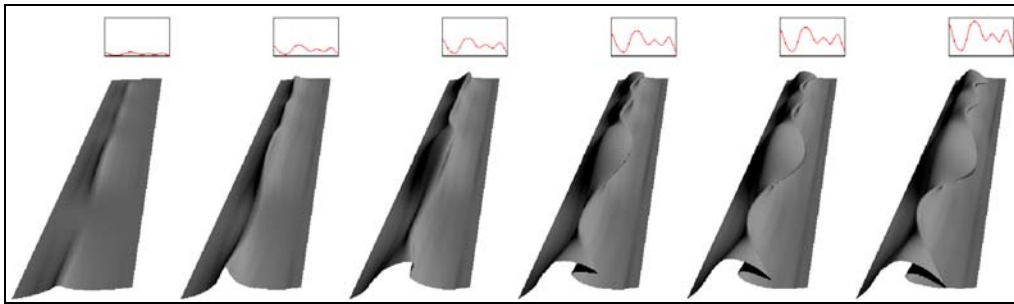


图 7: 一组连续变化的切片选择函数及对应海浪曲面

4 海浪水花

卡通海浪中的水花分两类, 一类是分布于浪尖周围的面积比较大的区域内大水花, 还有一类是分布在海浪周围零散的小水花。对于小水花, 我们可以在手工绘制的作品中提取小水花纹理, 通过 Billboard 方式进行绘制, 下面主要讨论大水花的生成及绘制。

4.1 水花绘制曲面及水花基本图案生成

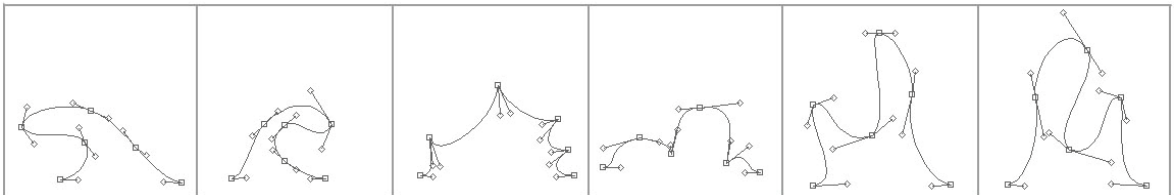


图 8: 水花基本图案

与海浪曲面相比海浪水花形状更加复杂, 构建其三维模型非常困难, 故我们构建出水花的二维模型, 然后在海浪曲面顶部添辅助曲面并将浪花形状映射到该曲面上。

在手工绘制卡通动画中, 浪花的形状与风格也具有多样性。我们根据图 1 手工绘制的浪花样本, 利用 Bezier

曲线来对它们进行拟合建模得到其矢量化模型库,如图 8 所示。与海浪切片类似,我们将水花图案的控制点坐标都归一化到 $[0,1]$ 空间中,然后保存到一个水花库文件中。下面介绍如何把图 8 的浪花样本组合成海浪波峰上的浪花纹理。

4.2 浪花纹理

首先设定一参考基线,在其两侧生成一个由不等距线段组成的多边形包络(图 9a),在构成包络上一个线段 $\overline{P_i P_{i+1}}$ 上,我们从水花库中随机选取一个图案(图 9 小块方形内给出一个图案例子),对该图案进行适当的放大、平移和旋转将其放置到 $\overline{P_i P_{i+1}}$ 上,使得 \overline{AB} 与 $\overline{P_i P_{i+1}}$ 重合(图 9b)。考虑到手工绘制浪花还有向内凹入的地方,我们用一些大小随机半椭圆(图 9c 黑色部分)近似,在绘制时抠去半椭圆内凹区域。最后把浪花内部进行填充颜色填充得到一个浪花纹理(图 9d)。由于包络 C 的生成以及水花图案的选择都有随机性,所以系统每次能生的水花纹理都不一样,这一点正好符合手工绘制的情况。

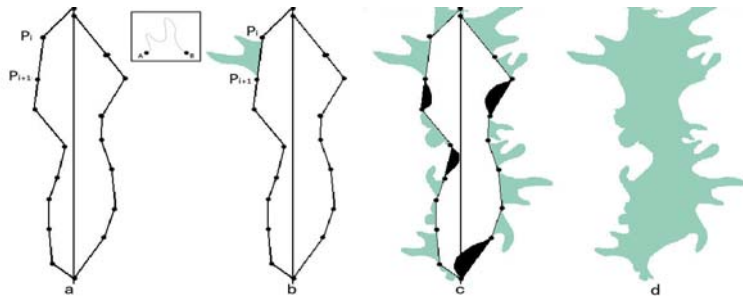


图 9: 浪花建模过程

4.3 浪花绘制

由于我们是在二维上建立浪花的纹理模型,直接将浪花纹理映射到海浪曲面上所得到的结果在视觉上与手工绘制的有很大差距。为了得到类似手工绘制的卡通浪花效果,我们在海浪曲面上添加辅助曲面用于绘制浪花纹理。辅助曲面的构造方法与海浪曲面构造方法类似,即在每个的海浪关键切片上增加水花辅助曲面的切片,如图 10 所示。其余的步骤与生成海浪曲面的相同。图 11 给出若干时间采样点上的三维浪花辅助曲面。

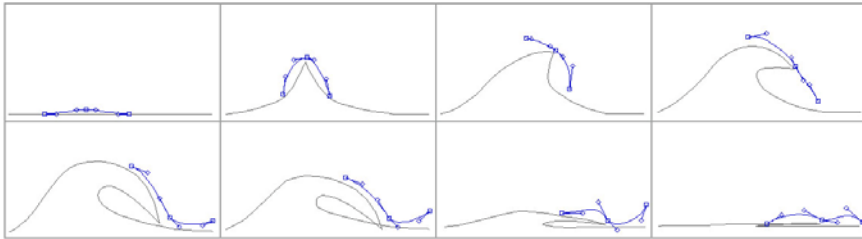


图 10: 浪花辅助曲面切片构造(蓝色)

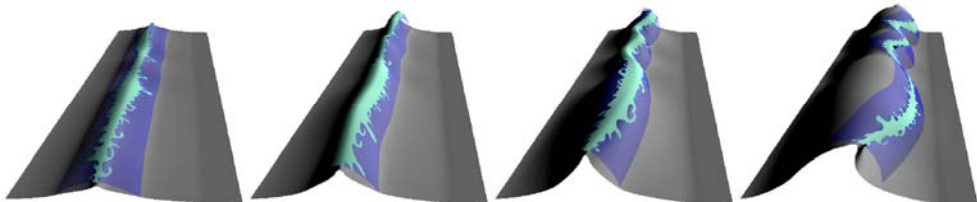


图 11: 在不同采样时间上的三维浪花辅助曲面以及影射的浪花纹理

在浪花辅助曲面建好之后,系统自动地把浪花纹理映射到浪花辅助曲面上。在图 11 中我们用半透明的深

蓝色表示浪花辅助曲面, 中间的浅蓝色为浪花纹理。需要指出, 浪花辅助曲面只是用作浪花纹理的载体, 在绘制浪花时我们用一个二值模板, 该模板中对应浪花的区域设为 1, 其他区域设为 0, 用这个模板可以在浪花辅助曲面上仅仅绘制出浪花, 其余部分则不显示。

4.4 浪花动态控制

浪花纹理在海浪运动过程中除了形状随机变化外, 其宽度也随时间变化。设海浪从生起到消失所用帧数为 WN , 我们用 $wf=w_1(0.2+\sin(i\pi/WN))$, ($i=1,\dots,WN$) 控制浪花纹理宽度, 这里 w_1 是浪花 C 包络侧面宽度的均值, 式中常数 0.2 保证了 wf 最小取值为非零。

5 结果

我们的系统是在 Intel(R) Core(TM)2 Duo P8700 2.53G, 4G 内存, NVIDIA GeForce GT 130M 显卡, Window Vista 操作系统下实现, 开发软件是 DirectX 9.0 SDK, GPU 编程语言为 HLSL。下面展示我们系统生成的三维卡通海浪例子, 在这些例子中海浪生成以及绘制速度达到实时。图 12 是系统生成的比较小的海浪动画序列。图 13 为侧面表现的更激烈海浪动画序列, 其中上下两组是选用两个不同的 $\varphi(x,t)$ 函数所得到的激烈海浪动画序列。图 14 为不同视角下的激烈海浪效果。



图 12: 侧面小海浪动画序列

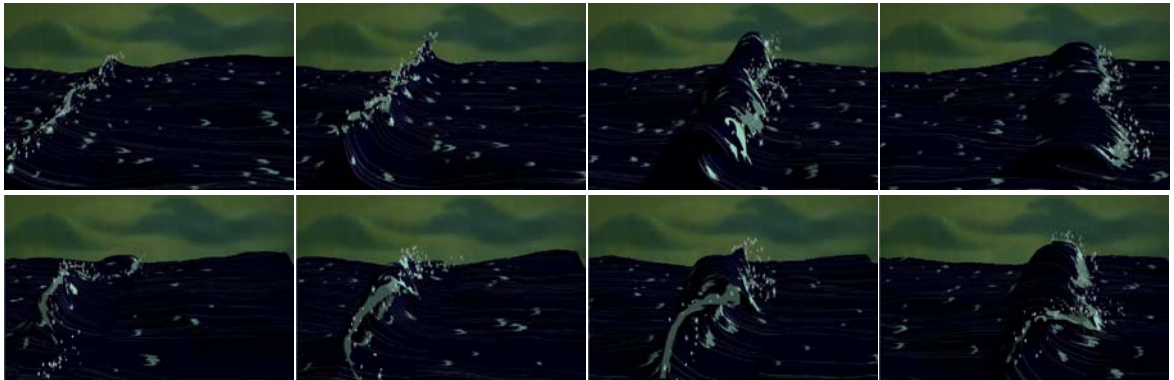


图 13: 侧面大海浪动画序列



图 14: 不同视角下的海浪效果

6 结束语

本文提出一个三维卡通海浪动画的建模与绘制方法。我们用简易直观模型构造出形态复杂的卡通海浪形状,并在三维空间实现卡通海浪动画。通过本系统用户可以方便的对海浪波的形态、位置、速度等进行设置与调控。通过 GPU 硬件加速达到三维海浪卡通海浪的实时绘制。此外,如果用户设计出新的风格浪花形状,系统还可以生成不同视觉效果的海浪动画。在未来工作中我们打算向更复杂的卡通海浪动画生成扩展,包括海浪与浪之间的相互作用及海浪与障碍物碰撞效果等。

References:

- [1] FOURNIER A, REEVES W T. A simple model of ocean waves [J].Computer Graphics, 1986, 20 (4) : 75- 84 .
- [2] TESSENDORF, J., 2001. Simulating ocean waters. In SIGGRAPH course notes (course47), ACM SIGGRAPH, <http://home1.get.net/tssndrf>
- [3] JENSEN L S. Deep-water animation and rendering [EB/OL] .(2001) . http://www.gamasutra.com/gdce/Jensen/Jensen_01.html.
- [4] Losasso, F., Talton, J., Kwatra, N. and Fedkiw, R.,Two-way Coupled SPH and Particle Level Set Fluid Simulation [J], IEEE TVCG 14, 797-804 (2008).
- [5] Yu Jin-hui, Xu Xiao-gang, Peng Qun-sheng. Cartoon Water Forms Synthesis Using Random Sinusoidal Functions [J]. Journal of Computer Research and Development. 2001,38(5):519-523.
- [6] Yu Jin-hui, Xu Xiao-gang, Wan Hua-gen, Peng Qun-sheng. A Cartoon Water Model for Stereo Animation [J]. Journal of software.2002, 13(4): 475~481.
- [7] Chen Tian-zhou, Yan Hong-jie ,Yu Jin-hui. A Cartoon Water System [J].Journal of System Simulation. 2004, 16(11): 2479~2492.
- [8] Fabian Di Fiore, Johan Claes, Frank Van Reeth. A Framework for User Control on Stylised Animation of Gaseous Phenomena [A], In: Proceedings of Computer Animation and Social Agents (CASA2004) [C], Geneva, Switzerland,2004:171~178.
- [9] John David Thornton. Directable Simulation of Stylised Water Splash Effects in 3D Space [A], Sketches. In: Proceedings of SIGGRAPH 2006-Material presented at the ACM SIGGRAPH 2006 conference[C], Boston, USA, 2006:94~94.
- [10] Eden AM, Bargteil AW, Goktekin TG, Eisinger SB, O'Brien JF. A Method for Cartoon-Style Rendering of Liquid Animations [A], In: Proceedings of Graphics Interface [C], Montréal, Canada, 2007:51~55.
- [11] Yu Jin-hui, Jiang Xi-nan, Chen Hai-ying, Yao Cheng. Real-time Cartoon Water Animation [J].The Journal of Computer Animation and Social Agent.2007,18(4-5):405~414.
- [12] FANG Jian-wen,YU Jin-hui,CHEN Hai-ying. Computer Generation of 3D Cartoon Water Colliding with Objects [J]. Journal of Image and Graphics,2010,15(3):507~512

附中文参考文献:

- [5] 于金辉,徐晓刚,彭群生.用随机正弦波拟合卡通流水[J].计算机研究与发展. 2001, 38(5): 519~523.
- [7] 陈天洲,鄢宏杰,于金辉.卡通流水生成系统[J].系统仿真学报.2004, 16(11): 2479~2492.
- [12]方建文,于金辉,陈海英.3 维卡通水与物体交互作用的动画建模[J].中国图象图形报,2010,15(3):507~512