

用随机正弦波拟合卡通流水

于金辉 徐晓刚 彭群生

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室 杭州 310027)

摘要 在过去二十年中人们提出许多处理水运动的方法,但大都致力于生成真实感的动画,而对传统手工绘制的水运动效果建模问题几乎无人涉及。本文给出一个等级结构的卡通流水模型。我们首先分析卡通流水的绘制过程,从中提取卡通流水的静态要素与动态要素,然后以正弦波为基础对其幅度、频率以及相位进行随机扰动定义水波形状,并在指定边线范围内控制它们的运动来生成卡通流水。此外文中还给出了生成三维卡通流水的方法以及相应的动画图例。

关键词 卡通动画,流水,模型,计算机动画

中图法分类号 TP391

Cartoon Water Forms Synthesis using Random Sinusoidal Functions

YU Jin-Hui XU Xiao-Gang Peng Qun-Sheng

(State Key Lab. of CAD&CG, Zhejiang university, Hangzhou, 310027)

Abstract Many methods dealing with water movements have been proposed in the past two decades, most of them however focus on generating realistic animation and relatively little effort has been spent on simulating hand-drawn water series. This paper presents a model capable of generating cartoon water automatically. First, we analyze the hand drawn cartoon flowing water series and extract the static and dynamic elements associated with them. Second, we make use of sinusoidal function by perturbing its amplitude, frequency and phase randomly to model flowing water waveforms and animate them along the path specified. Finally, we describe how to generate cartoon water in a 3D scene and show relevant examples.

Key words cartoon animation, water synthesis, model, computer animation

1 引言

流水、火焰、烟雾等(英语统称为 Effects)是我们日常生活环境的重要组成部分,所以在卡通动画中不可避免地要用到它们以烘托动画气氛及增强动画的真实感,其中流水是动画中常见的场景,例如河流、瀑布、小溪、海面等等。对于以水面附近及水面上发生故事为主要情节的动画作品,则流水动画的绘制工作量更大。目前计算机辅助制作动画系统主要着眼于用计算机手段实现传统手工动画中某些制作步骤,其主要的算法是关键帧(Keyframe)插值。但这些自动生成中间画面的方法要求关键帧之间的物体在几何与时间上都连续。由于卡通流水含有随机运动分量,因而破坏了画面之间的对应关系,造成上述方法完全失效。此外,卡通流水是手工绘制的具有艺术风格的二维画面,它们难以用粒子系统[9]表示,我们亦无法利用物理知识如流体理论等对其建立模型。在

过去二十年中人们提出许多处理水运动的模型[1-9],但大都致力于生成真实感的动画,而对自动生成卡通风格水运动效果则一直无人提出有效的解决方法虽然卡通 Effects 含有随机运动分量,但它们是自然现象的艺术再现,因而它们的运动是连续并可预测的,所以有可能找出对应的模型来自动生成卡通 Effects。我们已成功地建立了卡通风格火焰模型[12]和卡通烟雾模型[13]。由于卡通流水在形态上以及运动方式上都不同于卡通火焰与卡通烟雾,所以我们首先对手工绘制的卡通流水进行分析并提取它的静态要素与动态要素,然后在此基础上构造一个等级结构的计算机卡通流水模型。在文中我们还给出如何生成三维卡通流水效果的方法以及相应的动画图例。

2 手工绘制的卡通流水

根据[10]中的介绍,在卡通动画中,一个较为简单的表现流水的方法是先背景蓝色表现

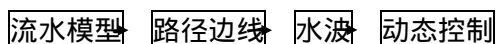
水，然后在上绘制一系列浅蓝色或白色的水波形状，在下一幅画面中的不同位置上再画出一系列水波形状，以表现水的流动。水波形状可以是较为抽象的，或是具有某种风格的，或是较为真实的（与[1-9]中的真实感水动画相比，卡通里的真实流水形状仍是流水波纹的艺术再现，只是相对于抽象和风格化的流水波纹而言，其形状看起来较为真实些）。无论采用什么形状，它们都必须沿着所选的路径连续不断地流动。由于水的运动从不以机械方式重复，所以动画绘制人员必须画出许多随机流水画面，从而造成制作周期长且制作费用高。如果受限于时间与资金预算，动画绘制人员一般先绘制几段短的流水动画序列，然后随机地重复这些序列段以减弱视觉上的重复机械感。图 1 给出一幅手工绘制的流水动画画面[11]。



图 1 手工绘制的卡通流水

3 卡通流水模型

通过分析手工绘制的卡通流水动画，我们可以归纳出静态要素与动态要素：静态要素是流水路径，动态要素是水波沿流水路径流动，水波流动速度基本保持不变，而水波形状则在运动过程中随机变化。实际上我们可以把卡通流水模型的结构想象成一个梯子，其两边的竖支撑可看作限制流水路径的边线，中间的横支撑可看作水波并匀速向前移动。由此我们可以建立如下流水模型：



下面我们将对建模步骤进行详细介绍。

3.1 流水路径边线

流水路径边线控制着水的流向并确定流水所覆盖的面积，如河流两端的河岸线。由于流水路径边线的形状要根据动画脚本所描述的场景决定，本系统的界面允许用户指定少量的控

制点来确定它们的大致形状，然后系统用样条曲线对这些控制点插值获得描绘流水路径的两组点并把它们分别放入两个数组 LBD_i 和 RBD_i 中， $(i=1, \dots, BdN)$ ，这里 BdN 是两个边线中包括控制点和插值点的总点数(见图 2)。利用两个数组的下标我们可以定义流水的前进参考方向。由于水波流动是通过边线上一些插值点的位移来实现的，所以在相邻控制点之间插值点的数量应该足够多以保证水波流动的连续性。在系统中我们把插值点数的缺省值设为 10 供观查初始效果用，然后用户根据需要再决定是否修正该参量。

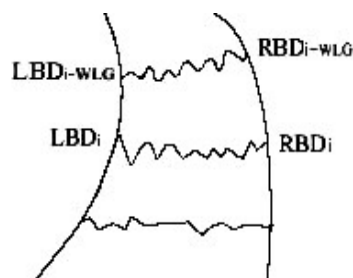


图 2 流水路径边线及水波

3.2 波速与波距

波速即水波流动速度，用 $WSpeed$ 表示。它控制水波在两相邻画面之间的沿边线的位移，在模型中我们用流水路径边线上一些点所跨的距离来近似。例如把 $WSpeed$ 指定为 3，则水波从某画面到其下一个画面沿边线移动三个点的距离。

水面上两相邻水波之间的距离我们称为波距，用 $WaveD$ 表示。与 $WSpeed$ 类似，在模型中波距要转化成边线上的一些点数(比如从 LBD_i 到 $LBD_{i+WaveD}$ 之间的点数)。注意，由于 $WaveD$ 与 $WSpeed$ 都是边线上的点数，为了在动画中避免水波向后移动的频闪效应¹，二者需满足如下足关系：

$$WaveD > 3WSpeed \quad (1)$$

利用边线上的点数 BdN 与波距 $WaveD$ ，水波的数量 $WaveN$ 则可以通过如下方程计算得出：

$$WaveN = BdN / WaveD \quad (2)$$

3.3 水波形状生成及其动态控制

观察手工绘制的卡通流水画面(图 1)我们可以看到水波的形状与正弦波类，但其幅度与

¹ 频闪效应是电影在播放过程中的一种视觉效应，常见的有快速旋转的车轮有时看起来好象朝反方向慢速旋转似的。

频率随机变化，所以在模型中我们采用正弦波形作为水波形状的基础并对其幅度 Am 和频率加以随机扰动来获得描述水波骨架的方程：

$$WaveS(u)=(Am + \Delta Am)\sin((\omega + \Delta\omega)u + \phi) \quad (3)$$

式中 Am 根据实验我们选取它为 $WaveD$ 的十分之一左右，其结果令人满意， ΔAm 的缺省值为 5%，用户可根据需要增大或减小 ΔAm 值， $u \in [0,1]$ 为空间引导变量， ϕ 为在 $[-\pi, \pi]$ 之间随机变化的相位。

由方程 (3) 所确定的波形在 0 均值的水平线上变化，这对描绘比较平稳的流水动画是合适的。但在图 1 中有人物在水中走步，从而引起水波形状围绕人物局部变化，有的呈弧形，有的水波幅度迅速衰减，还有的水波在运动过程中逐渐分裂，等等。这些波形可以分别用下列方法来拟合：

(1) 在方程(3)的基础上通过迭加一弧状波形，即

$$ArcWaveS(u)=WaveS(u)+BaseAm \sin(u) \quad (4)$$

在这里我们用正弦半波近似弧形，其中 $BaseAm$ 控制正弦半波的幅度，可根据需要指定。

(2) 在方程(3)中乘上一幅度衰减因子，即

$$DecayWaveS(u)=Fa(u)WaveS(u) \quad (5)$$

这里 $Fa(u)=\exp(-\alpha u)$ 为一指数衰减因子，其中 α 控制衰减的快慢，可根据需要指定。

(3) 把二者结合使用来控制水波分裂，即

$$BrokenWaveS(u)=Fa(u)ArcWaveS(u) \quad (6)$$

这里 $Fa(u)$ 有多种选择，如图 3 所示。

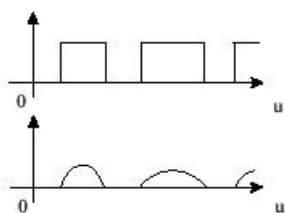


图 3 控制水波分裂的各种因子

需要指出，在方程式(4)~(6)中， u 均在 $[0,1]$ 区间变化， $BaseAm \sin(u)$ 和 $Fa(u)$ 还可以是时间 t 的函数，如 $BaseAm$ 以及 $Fa(u)=\exp(-\alpha u)$ 中的 α 随时间变化，以获得更好的控制效果。

至此我们只是生成各种水波的骨架。观察图 1 可以看到水波并不是简单的细线，而具有一定的宽度，且宽度在一定范围内随机变化。利用于金辉等提出的笔刷模型[14]，我们可以沿上述骨架定义笔刷宽度函数

$$BWidth(u)=MeanW + \Delta W \sin(2\pi u) \quad (7)$$

这里 $MeanW$ 为笔刷宽度均值， ΔW 仍为随机扰动。在离散情况下我们实际计算出笔刷宽度函数的采样点 $BWidth(u_i)$ ，再用样条曲线对这些采样点插值获得较为平滑的 $BWidth(u)$ 笔刷宽度函数曲线，以避免在笔刷边缘出现毛刺。

3.4 模型结构

综上所述，本模型的结构可以表示如下：

- (1) 输入初始化参数： $WSpeed, WaveD, \Delta Am, \Delta\omega$ ；
- (2) 生成流水路径边线： $LBDi$ 和 $RBDi$ ($i=1, \dots, BdN$)；
- (3) 计算水波数量： $WaveN=BdN/WaveD$ ；

For each frame t:

For ($i=0$ to $WaveN$) {

- (1) 确定水波在两边线上的位置

$$WavePL(i)=LBD(i+t*WSpeed);$$

$$WavePR(i)=RBD(i+t*WSpeed);$$

- (2) u 从 0 增加到 1 (增量 $u < 1$)

- a. 生成水波骨架 $WaveS(u)$ ；

- b. 生成笔刷宽度函数 $BWidth(u)$ ；

- c. 用 $BWidth(u)$ 乘上[14]中的单元笔触宽度；

- d. 在骨架相应的点上按指定颜色画出单元笔触；

循环至 u 增加到 1 结束}

End (of each frame)

4 三维卡通流水

上述卡通流水模型是建立在二维空间上的，所以它可以直接用来生成二维卡通流水动画效果。实际上我们利用一个简单的坐标变换可以容易地将上述模型扩展到三维空间：

$$x'=x, \quad y'=0, \quad z'=y.$$

这里 x, y 表示二维坐标， x', y', z' 表示三维世界坐标。这个坐标变换实际上就是把二维的流水模型定义到三维该坐标系中的 X-Z 平面（即水面）上。对于表现非平面上的流水动画如瀑布，我们则需要把模型中的坐标参数定义到一曲面上。图 4 给出一个三维卡通流水的动画序列。

5. 结束语与未来工作展望

本文用随机正弦波拟合卡通流水波纹并自动生成流水动画。与手工绘制卡通流水动画相

比，本模型的优点主要表现在以下几个方面：

(1) 灵活性。本模型可以表现水在不同场合下的流动，如河流、瀑布、水龙头出水，海面等等。若采取手工方式则需要分别绘制上述各个不同的流水动画序列，而在本模型中我们只需要变换少量的控制参数即可实现目的。

(2) 可控性。对于模型中采用的水波，其流速、形状、大小都是可控的。这样我们可以生成较为平稳的流水动画，亦可生成运动较为激烈的流水动画。

(3) 扩展性。本模型具有层次结构，这允许我们在模型的相应层次中添加不同的水波形状(如第二节提到的抽象的、风格的流水形状)，也可以在渲染(rendering)方式上进行变化，从而利用本模型的基础控制部分来生成诸如水墨画风格的流水，或铅笔画风格的流水动画。



图4 用本模型生成的三维卡通流水

参考文献

1. Perlin K. An image synthesizer. *Computer Graphics*, 1985, 19(3): 287~296
2. Max NL. Vectorized procedural models for natural terrain: Waves and island in the sunset. *Computer Graphics*, 1981, 15(3): 317-324
3. Peachey DR. Modeling waves and surf. *Computer Graphics*, 1986, 19(4): 65-74
4. Fournier A. and Reeves W.T. A simple model of ocean waves. *Computer Graphics*, 1986, 19(3): 75-84
5. Watterberg P.A. Mastin G.A. and Mareda J.F. Fournier synthesis of ocean scenes, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1987, 7(3): 16~23
6. Sims K. Particle animation and rendering using data parallel computation. *Computer Graphics*, 1990, 24(4): 405~413
7. Mallinder H. The modeling of large waterfalls using string texture, *Visualization and Computer Animation*, 1995, (6): 3~10
8. Reeves W.T. Particle system-a technique for modeling a class of fussy objects, *Computer Graphics*, 1983, 17(3): 358~376.
9. 徐迎庆, 苏成, 李华, 刘慎权. 基于物理模型的流水及波浪模拟. *计算机学报*, 1996(增刊), 19: 153~159.
(Xu Yingqing, Su Cheng, Li Hua, Liu Shenquan. Physically Based Simulation of Water Currents and Waves. *Chinese Journal of Computers*, (in Chinese), 1996 (supplementary), 19:153-159)
10. White T. *The Animator's book*, Watson-Guptill, New York, 1986
11. 《西游记》电视卡通系列丛书, 中国少年儿童出版社, 2000
(Monkey King, TV Cartoon Series (in Chinese). China Children Press, 2000)
12. Yu Jinhui & Patterson J. W. A fire model for 2D computer animation", In: *Proceedings of Computer Animation and Simulation'96*, Spriger-Verlag, 1996, 49-60
13. 于金辉, 徐晓刚, 彭群生. 计算机生成卡通烟雾动画. *计算机学报*, 2000, 23(9): 987-990
(Yu Jinhui, Xu Xiaogang, Peng Qunsheng. Computer Generation of Cartoon Smoke. *Chinese Journal of Computers*, (in Chinese)

2000, 23(9):987-990)

14. 于金辉, 张积东, 丛延奇. 一个基于物理的笔刷模型. 计算机辅助设计与计算机图形学学报, 1996, 8(4): 241-245

(Yu Jinhui, Zhang Jidong, Cong Yanqi. A Physically based Brush-Pen Model. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics (in Chinese). 1996, 8(4) :241-245)