

# 一个卡通动画雨模型\*

于金辉, 尹小勤, 彭群生

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

E-mail: jhyu@cad.zju.edu.cn

http://www.cad.zju.edu.cn/home/jhyu

**摘要:** 给出一个自动生成卡通风格小雨和大雨效果的计算机模型. 我们首先介绍如何从手工绘制的卡通雨动画序列中分析提取雨滴降落轨迹的静态结构与动态结构, 以此为基础生成它们的骨架模型. 在小雨模型只采用单层骨架, 在大雨模型中则采用多层雨滴以表示降雨的深度感, 并添加溅落到地面的雨滴来进一步强调效果. 由于在模型中采用了随机分量控制, 因而在生成的下雨效果中避免了手工绘制动画里重复使用周期序列画面带来的机械感. 在手工绘制动画中若想改变下雨轨迹的方向和速度来烘托动画气氛则需要分别绘制不同的下雨动画序列, 工作量很大. 用本模型我们只需在模型中通过控制少量几个参数便可十分容易地改变下雨的方向与速度. 该模型不仅能再现传统二维卡通下雨效果, 它还能在三维空间生成卡通风格的下雨动画.

**关键词:** 雨; 模型; 卡通动画; 计算机动画

中图法分类号: TP391 文献标识码: A

在最近几年非真实感(non-photorealistic)动画逐渐引起人们的研究兴趣, 因为在有些场合非真实感动画比真实感动画更吸引人, 所以它在教育、动画、娱乐、多媒体以及互联网中有广泛的应用. 非真实感动画的主要研究内容是如何在二维和三维空间中自动生成具有手工绘画效果的动画, 在技术上可以分为基于三维模型的和基于图像的两大类. Meier以Haerberli在静止画面上生成绘画效果的工作为基础<sup>[1]</sup>, 用三维真实感图形作为参考图像, 从中获取几何与光照信息来控制笔刷属性描绘出具有油画风格的农家谷垛<sup>[2]</sup>; Deussen等先设计出若干基本树叶单元, 然后利用三维树模型的深度信息来确定在何处画这些树叶单元来生成钢笔画风格的树<sup>[3]</sup>; Klein等把照片用Photoshop处理成水彩或印象派等效果后, 再用它们构成室内景观, 供用户可以在这种非真实环境中漫游<sup>[4]</sup>; Lake等利用纹理映射技术产生三维铅笔绘画效果的动画<sup>[5]</sup>; Markosian等用一个叫做嫁接纹理的方法来模拟一种漫画效果的动画<sup>[6]</sup>. 上述几种方法大都限于生成照相机运动(camera movement)的动画, 而画面中的物体则是静止的. 基于图像的非真实感动画技术数量较少, 如Litwinowiz在视频序列图像上用小方格控制笔刷位置再用图像梯度控制笔刷方向生成印象派油画的效果<sup>[7]</sup>; Hertzman和Perlin在视频序列图像上采用多层大小不同的方格由粗到细地变化笔刷尺寸来生成手工绘画效果<sup>[8]</sup>. 这类技术的主要缺点是因笔刷随机变化在画面之间造成明显的噪声. 于金辉等则对手工绘画过程建模来自动生成具有卡通风格的火焰、烟雾和流水效果<sup>[9,10-12]</sup>. 本文给出一个能自动生成卡通雨的模型. 一些著名的商用动画软件如Maya, 3DMax大都提供能生成下雨的效果, 但仅限于生成具有真实感的雨. 由于卡通雨在形态上以及运动方式上都不同于卡通火焰与卡通烟雾, 我们首先对手工绘制的卡通雨进行分析并提取它的静态结构与动态结构, 然后在此基础上构造一个等级结构的计算

\* 收稿日期: 2002-05-08; 修改日期: 2002-06-10

基金项目: 国家自然科学基金(60073024); 留学回国人员科研启动基金资助项目

作者简介: 于金辉(1960 - ), 男, 黑龙江虎林人, 博士, 研究员, 主要研究领域为计算机辅助制作卡通动画, 非真实感绘制技术, 物体变形技术, 计算机生成装饰物体, 计算机书法, 计算机美术; 尹小勤(1978 - ), 男, 湖南湘潭人, 硕士生, 主要研究领域为计算机动画, 非真实感绘制技术, 虚拟现实; 彭群生(1947 - ), 男, 湖南新化人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为虚拟现实, 计算机动画, 可视化, 工程图纸扫描识别, 几何造型.

机卡通雨模型.用户可以通过界面方便地控制雨滴降落的方向与速度来灵活地自动生成所需要的卡通小雨或大雨效果.

## 1 手工绘制的卡通雨

在卡通动画中,导演不仅仅把雨作为一种自然现象来使用,有时还借助雨来帮助表达场景气氛以烘托故事情节,比如沮丧的气氛可以用沿垂直方向缓慢移动的雨来表现,而较激烈的气氛则需用倾斜的快速移动的雨来表现.在手工绘制卡通动画中表现雨,一个容易出现的问题就是它看起来有较强的机械感.虽然实际中雨水大致垂直平行降落,但在动画中必须用随机的斜线才给人有真实的感觉.动画绘制人员在长时期实践中已经摸索出一套表现雨的艺术手法,如小雨用一些横跨屏幕的斜线,再以此方式画若干画面,如图1所示<sup>[13]</sup>.在拍摄时对它们进行随机排列以防止重复效应出现.大雨则用多层透明薄膜(cel)表现不同深度:前景的雨滴需要迅速降落,大约用6幅画面穿过屏幕,远处的雨则要移动稍慢一些,以给出深度的感觉.各个独立的雨滴要画在一条直线上,在各连续画面中各雨滴相互重叠一些.对表现瓢泼大雨,要用雨滴碰撞地面形成的一圈水来强调效果:它们随机散落在地面上,每个水滴要用6幅画面表现它从大到小的消失.图2是手工绘制卡通大雨的画面<sup>[14]</sup>.

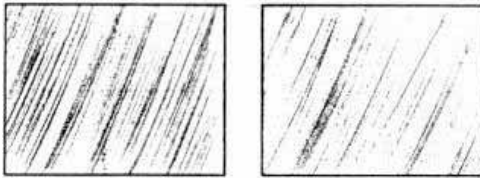


Fig.1 Hand drawn cartoon light rain

图1 手工绘制的卡通小雨画面

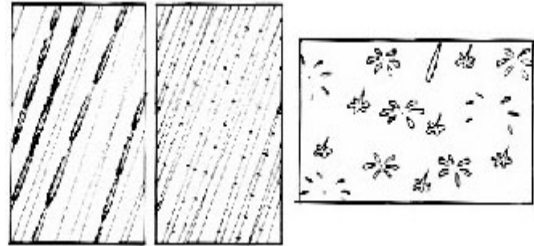


Fig.2 Hand drawn cartoon heavy rain

图2 手工绘制的卡通大雨画面

从上述卡通雨动画的手工绘制过程可以看到,尽管动画绘制人员对小雨和大雨采用了不同的艺术表现手法,但都离不开雨滴的运动轨迹:小雨的轨迹稍微弯曲一些并被直接画出来,大雨的轨迹则更直一些,但不画出来,而是用来引导雨滴的空间降落位置.与小雨不同的是大雨要用多层表示,并添加雨点溅落的过程.

以上述分析为基础,我们可以建立卡通雨模型.在下列各节我们分别详述卡通小雨和大雨的建模过程.

## 2 卡通小雨模型

卡通小雨模型的静态结构是由在同一画面内一些近乎平行的斜线(轨迹)构成,其动态结构则是由与上述画面有统计相似斜线的一系列画面构成.从图1我们可以看到每个斜线可以由它的长度、方向以及宽度来完全确定.于金辉等曾提出一个笔刷模型<sup>[15]</sup>可以十分容易地生成这些斜线.该模型先用圆形或方形内的散点定义单元笔触,再用骨架导引单元笔触来模拟毛笔书写笔划的过程,并可通过控制单元笔触宽度、散点颜色和散点密度来生成具有不同形状、不同颜色以及不同颜色用量的笔划.将该笔刷模型与小雨斜线位置分布控制机制结合,我们可以构成如下的卡通小雨模型:

For each frame:

确定骨架数量  $SkltNum = SkltMeanNum + \Delta$ , 这里  $SkltMeanNum$  为用户指定的骨架数量均值,  $\Delta$  为随机扰动;

For each skeleton:

- (1) 生成骨架笔刷属性参数:角度  $SkltTheta$ , 长度  $SkltLength$ , 起始位置  $SkltP(x, y)$ , 并对它们进行随机扰动;
- (2) 利用上述属性参数生成一个略微弯曲的骨架;
- (3) 计算单元笔触宽度  $BWidth(u) = Width * \sin(u\pi)$ ; 这里  $0 \leq u \leq 1$  是骨架导引参数,  $u=0$  和  $u=1$  分别对应骨架始端和终端,  $Width$  为最大宽度, 可根据画面需要指定,  $\sin(u\pi)$  使笔刷宽度在骨架两端逐渐变细;

- (4) 计算笔触散点密度  $Bdens(u)=k*BWidth(u)+\Delta$ ,  $k$  为比例系数,视画面大小而定,  $\Delta$  为随机扰动;
- (5) 确定笔触散点颜色  $BColor(u)=BaseColor+\Delta$ ,  $BaseColor$  为基色,  $\Delta$  为随机扰动;
- (6) 调用笔刷模型  $BrushStroke(Bwidth(u),Bdens(u),Bcolor(u))$  生成一稍微弯曲的斜线;

End (of each skeleton)

End (of each frame)

图 3 给出一幅用该模型自动生成的小雨动画画面,通过实时播放其效果令人满意(相应的动画文件可以从作者主页 <http://www.cad.zju.edu.cn/home/jhyu/Effects.htm> 下载观看).



Fig.1 Hand drawn cartoon light rain  
图 1 手工绘制的卡通小雨画面

### 3 卡通大雨模型

大雨模型主要由两部分组成,一部分是雨滴在空中降落的过程,我们用 3 层来分别表示近、中、远的雨滴,其中雨滴轨迹的静态结构与动态结构与小雨模型的类似.另一部分是雨滴溅落后的过程,其静态结构是围绕一个椭圆的 5~6 个分裂水滴,动态结构是诸水滴向周围扩散、直至消失.

#### 3.1 空中降落雨滴

在大雨模型中,空中移动雨滴轨迹与小雨模型中骨架形状相似,总体略倾斜,但本身更直一些.考虑到前景中的雨滴用 6 幅画面越过屏幕并且每个雨滴在相邻画面要轻微重叠以保证雨滴运动的连续感,我们在第一层用  $FrtLG=\beta ScrH/6$  来确定雨滴的长度,这里系数  $\beta=1.1$  以保证两相邻画面中雨滴重叠 10%,  $ScrH$  为屏幕画面高度.由于第二层和第三层表现离视点距离较远的雨滴,实验表明选取它们的长度分别为  $MidLG=0.55FrtLG$ ,  $BackLG=0.35FrtLG$  可以获得令人满意的效果.在不同层次上雨滴降落速度分别用  $FrtSpeed$ 、 $MidSpeed$ 、 $BackSpeed$  表示,经过实验我们把它们设置为  $FrtSpeed=2MidSpeed=4BackSpeed$ ,这样较远处的雨降落的慢一些,以加强雨的深度感.

空中雨滴的形状可用细长三角形并在前端冠以半圆来表示.雨滴在画面上的出现则是通过雨滴位置控制器来实现的.我们对每个雨滴定义一个轴,在轴上每隔 3~5 个雨滴长度放置一个点,该点的值为 1,用来导引降落雨滴圆头的位置.然后将轴沿雨滴轨迹按不同层雨滴降落速度向下移动,当雨滴圆头位置落入画面内,则显示该雨滴.由于我们采用循环方式使用轴上各位置导引点,为了避免在显示雨滴过程中出现明显的周期重复感觉,我们把该轴的长度定义成屏幕画面的高度的 3~5 倍,进一步再利用随机函数对各位置导引点进行扰动,最终可有效地消除周期性重复.

#### 3.2 落地雨滴

由于落地雨滴需要 6 幅画面表现其动画过程,即第一幅画面对应于雨滴刚刚接触地面的瞬间,它即将分裂并在中心留有一“尾巴”.在随后的画面中,雨滴分裂成 6 个环绕的小水滴,它们先是变长,然后缩短,最后消失.

在模型中我们利用一个随时间变大的椭圆控制分裂水滴的位置,如图 4 所示.椭圆长轴短轴比控制分裂水滴的透视大小.在椭圆上我们取大致等距的 6 个点,然后以椭圆中心到各个点连线作为参考方向定义 6 个矢量,

每个矢量的长度由  $HDropLG(t)=Lo.\sin(i\pi/6)$ , ( $i=1,2,\dots,6$ ),来定义,这里  $Lo$  是分裂水滴所能达到的最长长度并由用户根据需要指定, $i$  是与时间相关的指数.分裂水滴的宽度可由  $HDropW(t)=\beta HtDropL(t)$ 计算得出,根据实验  $\beta$  在 0.1~0.2 之间随机选取可以获得所希望的雨滴形状.在矢量箭头附近与该矢量垂直方向按  $HDropW(t)$ 在矢量两端取两个点,再与矢量首尾一起作为控制点,用样条曲线插值并绘出分裂雨滴的最终形状.

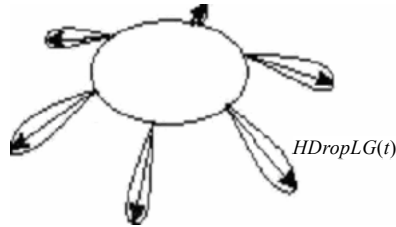


Fig.4 Skeleton model of rains drops hitting the ground

图 4 落地雨滴骨架模型

溅落雨滴的显示需要先确定雨滴溅落位置,包括雨滴溅落到地面以及地面上的静止物体或运动物体.模型检测雨滴与物体碰撞后可获得一个触发信号来触发雨滴溅落子程序,然后触发信号由 1 逐一增加到 6 分别控制分裂雨滴的 6 个变化状态.当触发信号值增至 7 时,分裂雨滴显示完毕,触发器进入等待状态直到下一个碰撞检测出来之后再触发雨滴溅落子程序.

### 3.3 模型结构

我们的卡通大雨模型结构可以表示如下:

(1)For each level  $l$ :

- a. 确定骨架数量  $SklNum(l)=SklMeanNum(l)+\Delta$ , (各参数意义与小雨模型中相同);
- b. 生成落雨轨迹骨架属性  $SklTheta(l), SklLength(l), SklP(l)$ ;
- c. 生成骨架  $Skeleton(l)$ ;
- d. 确定空中雨滴长度  $MRDropL(l)$ ;
- e. 确定雨滴降落速度  $RdropSpeed(l)$ ;

End (of each level)

(2)随机初始化雨滴位置器;

(3)随机初始化溅落雨滴显示触发器;

For each frame  $t$ :

For each level  $l$ :

For each skeleton:

从位置控制器中读出一个值;

如果该值为 1 则生成一个适当长度和速度的降落雨滴;

End (of each skeleton)

End (of each level)

For each drop hitting the ground or other objects:

检测雨滴是否与物体碰撞;

如果碰撞则从溅落雨滴显示触发器中读出一个值;

如果该值大于 0,则生成相应的分裂水滴;

End (of each drop)

End (of each frame)

## 4 三维卡通落雨

上述下雨模型是基于手工绘制卡通雨动画的绘制过程而建立起来的,所以它自然可以用来再现二维卡通

下雨效果.实际上运用计算机图形技术我们可以很容易地把这种效果扩展到三维.具体实现方法是在三维坐标系中过 $Y$ 轴上方 $H$ ( $H$ 可视场景需要而设定)处与 $X-Z$ 平面平行的一个平面上设定各雨滴的分布位置,雨滴降落轨迹的骨架方向可以先用一方向余弦确定出主要方向,然后对各骨架方向加随机扰动.对于溅落在地面以及地面上的静止或移动物体的分裂雨滴,其处理方法与二维中的类似,故不再赘述.由于在三维模型不需要分别处理近、中、远三层雨滴,所以在模型结构上三维模型要比二维模型来得简单一些.

图5和图6分别是二维和三维卡通大雨动画的单幅画面.单从静止画面我们难以分出二者的区别,但通过实时播放两个动画序列我们可以十分清楚地看到后者可以表现照相机先横向旋转,然后固定在某一角度并逐渐拉近地面的运动(相应的动画文件可以从作者主页 <http://www.cad.zju.edu.cn/home/jhyu/Effects.htm> 下载观看),而在手工绘制的下雨动画序列中表现这种三维效果是十分困难的.



Fig.5 2D carton rain generated by the model  
图5 模型生成的二维卡通雨画面

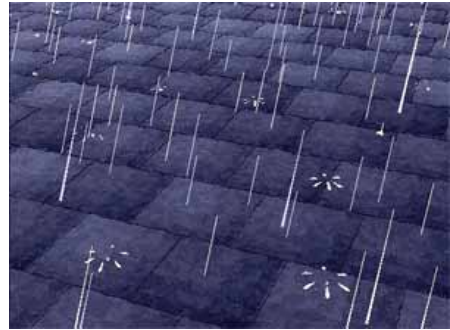


Fig.6 3D carton rain generated by the model  
图6 模型生成的三维卡通雨画面

## 5 结束语

本文给出一个自动生成卡通风格下雨效果的计算机模型.与手工绘制的下雨效果相比它有如下几个优点:

(1) 由于在模型中我们采用了随机分量控制,因而在生成的下雨效果中避免了手工绘制动画里重复使用周期序列画面带来的机械感.

(2) 我们的模型不仅能再现传统二维卡通下雨效果,它还能在三维空间生成卡通风格的下雨动画.这是一个具有十分重要意义的结果,因为用手工画出具有准确透视关系的三维卡通动画是极其困难的.

(3) 若想改变下雨轨迹的方向和速度来烘托动画气氛,用手工绘制则需要分别绘制不同的下雨动画序列,工作量很大.用本模型我们只需在模型中通过控制少量几个参数便可十分容易地改变下雨的方向与速度.

## References:

- [1] Haerberli, P. Painting by numbers: abstract image representations. In: ACM Staff ed. SIGGRAPH'90, Conference Proceedings, Annual Conference Series, 1990. 207~214.
- [2] Meier, B.J. Painterly rendering for animation. In: ACM Staff ed. SIGGRAPH'97, Conference Proceedings, Annual Conference Series, 1997. 477~484.
- [3] Deussen, O., Strothotte, T. Computer-Generated pen-and-ink illustrations of trees. In: ACM Staff ed. SIGGRAPH'2000, Conference Proceedings, Annual Conference Series, 2000. 13~19.
- [4] Klein, A.W., Li, W., Kazhdan, M.M., et al. Non-Photorealistic virtual environments. In: ACM Staff ed. SIGGRAPH'2000, Conference Proceedings, Annual Conference Series, 2000. 527~534.
- [5] Lake, A., Marshall, C., Harris, M. Stylized rendering techniques for scalable real-time 3D animation. In: Fekete J.D. and Salesin D. H. ed. Proceedings of Non-Photorealistic Animation and Rendering. ACM SIGGRAPH / Eurographics, 2000. 13~20.
- [6] Markosian, L., Meier, B.J., Kowalski, M.A., et al. Art-Based rendering with continuous levels of detail. In: Fekete J.D. and Salesin D. H. ed. Proceedings of the Non-Photorealistic Animation and Rendering. ACM SIGGRAPH / Eurographics, 2000. 59~66.

- [7] Litwinowiz, R. Processing images and video for an impressionist effect. In: ACM Staff ed. SIGGRAPH'97, Conference Proceedings, Annual Conference Series, 1997. 407~414.
- [8] Hertzmann, A., Perlin, K. Painterly rendering for video and interaction. In: Fekete J.D. and Salesin D. H. ed. Proceedings of the Non-Photorealistic Animation and Rendering. ACM SIGGRAPH / Eurographics, 2000. 67~74.
- [9] Yu, Jin-hui, Patterson, J.W. A fire model for 2D computer animation. In: Proceedings of the Computer Animation and Simulation'96. Boulic R. and Hegron G ed. Spriger-Verlag/Wein, 1996. 49~60.
- [10] Yu, Jin-hui, Xu, Xiao-gang, Peng, Qun-sheng. Computer generation of cartoon smoke. Chinese Journal of Computers, 2000, 23(9):987~990 (in Chinese).
- [11] Yu, Jin-hui, Xu, Xiao-gang, Peng, Qun-sheng. Cartoon water forms synthesis using random sinusoidal functions. Journal of Computer Research and Development, 2001,38(5),519~523 (in Chinese).
- [12] Yu, Jin-hui, Xu, Xiao-gang, Wan, Hua-gen, Peng, Qun-sheng. A cartoon water model for stereo animation. Journal of Software, 2001,12(7): 950~966.
- [13] White, T. The Animator's Book. New York: Watson-Guption, 1986.
- [14] Harold, W. Timing for Animation. London: Focal Press Limited, 1981.
- [15] Yu, Jin-hui, Zhang, Ji-dong, Cong, Yan-qi. A physically-based brush-pen model. Journal of Computer-Aided Design and Computer Graphics, 1996,8(4):241~245 (in Chinese).

#### 附中文参考文献:

- [10] 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.
- [11] 于金辉,徐晓刚,彭群生.用随机正弦波拟合卡通流水.计算机研究与发展,2001,38(5):519~523.
- [15] 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.

## A Rain Model for Cartoon Animation\*

YU Jin-hui, YIN Xiao-qin, PENG Qun-sheng

(State Key Laboratory of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

E-mail: jhyu@cad.zju.edu.cn

<http://www.cad.zju.edu.cn/home/jhyu>

**Abstract:** A computer model capable of generating stylized light rain and heavy rain for cartoon animation is presented. How to analyze and extract the static and dynamic structures associated with trajectories of raindrops from hand-drawn cartoon series is shown at first. Based upon those structures, how to generate their skeletons and control dynamic behaviors of those skeletons is also shown. The single pass is used in the light rain model and the multiple passes are used in the heavy rain model, and in the later case the effects is enhanced by animating a cycle of drops hitting the ground. Due to the stochastic control mechanism used in the model, the resultant effects avoid the mechanical look that may cause by using repetitive cycles in hand drawn animation. To suggest mood, animators have to draw different series with different timing and orientation of raindrops, while by varying a few parameters the model can achieve the same results with great ease. The method is also able to generate both 2D and 3D cartoon raindrops for animation.

**Key words:** rain; model; cartoon animation; computer animation

---

\* Received May 8, 2002; accepted June 10, 2002

Supported by the National Nature Science Foundation of China under Grand No.60073024; Scientific Research Foundation for Returned Overseas Chinese Scholars, State Education Ministry under Grand No.[2000] 367