

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: 给出了一个能自动生成卡通风格的小雨和大雨效果的计算机模型. 首先介绍如何从手工绘制的卡通雨动画序列中分析并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. 在小雨模型中, 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, 以进一步强调效果. 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在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, 以烘托动画气氛, 则需要分别绘制不同的下雨动画序列, 工作量很大. 采用该模型只需通过控制少量几个参数便可以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的效果, 而且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

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. 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 Haeberli 在静止画面上生成绘画效果的工作为基础^[1], 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^[2]; Deussen 等人首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, 以生成钢笔画风格的树^[3]; Klein 等人把照片用 Photoshop 处理成水彩或印象派等效果之后, 再用它们构成室内景观, 供用户在这种非真实环境中漫游^[4]; Lake 等人利用纹理映射技术产生三维铅笔绘画效果的动画^[5]; Markosian 等人用一个叫做嫁接纹理的方法来模拟一种漫画效果的动画^[6]. 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. 比如, 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, 生成了印象派油画的效果^[7]; 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^[8]. 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. 于金辉等人则对手工绘画过程建模, 以自动生成具有卡通风格的火焰、烟雾和流水效果^[9-12]. 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, 大都提供生成下雨效果的功能, 但仅限于生成具有真实感的雨. 由于卡通雨在形态和运动方式上都不同于卡通火焰和卡通烟雾, 因此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, 以便灵活地自动生成所需

* 收稿日期: 2002-02-26; 修改日期: 2002-06-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60073024); 国家教育部留学回国人员科研启动基金资助项目([2000]367)

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.

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要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是看起来它有较强的机械感.虽然在实际当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以真实的感觉.动画绘制人员在长期的实践中已经摸索出一套表现雨的艺术手法.比如,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^[13].在拍摄时对它们进行随机排列,以防止重复效应出现.对于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,在各个连续的画面中,各雨滴相互重叠一些.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 幅画面表现其从大到小的消失过程.图 2 是手工绘制卡通大雨的画面^[14].



Fig.1 Hand drawn cartoon light rain

图 1 手工绘制的卡通小雨画面

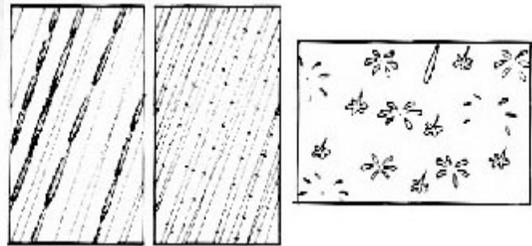


Fig.2 Hand drawn cartoon heavy rain

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出,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.在以下各节,我们将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)所构成,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所构成.从图 1 我们可以看到,每条斜线可以由它的长度、方向以及宽度来完全确定.于金辉等人曾提出一个笔刷模型^[15],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相结合,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, Δ 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 $u=1$ 分别对应于骨架始端和终端, $Width$ 为最大宽度, 可根据画面需要来指定, $\sin(u\pi)$ 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, Δ 为随机扰动;
- (5) 确定笔触散点颜色 $BColor(u)=BaseColor+\Delta$, $BaseColor$ 为基色, Δ 为随机扰动;
- (6) 调用笔刷模型 $BrushStroke(Bwidth(u),Bdens(u),Bcolor(u))$ 生成一条稍微弯曲的斜线;

End (of each skeleton)

End (of each frame)

图 3 给出了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我们的主页 <http://www.cad.zju.edu.cn/home/jhyu/Effects.htm> 下载观看)。



Fig.3 Cartoon light rain generated by the model
图 3 计算机生成卡通小雨动画画面

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 层分别来表示近、中、远的雨滴,其中雨滴轨迹的静态结构与动态结构和小雨模型的类似.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五六个分裂水滴,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的骨架形状相似,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,所以我们在第 1 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 2 层和第 3 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,较远处的雨降落得慢一些,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,我们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时,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高度的 3~5 倍,再进一步利用随机函数对各位置导引点进行扰动,最终可以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 1 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条“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、短轴之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的连线作为参考方向,定义 6 个

矢量,每个矢量的长度由 $HDropLG(t)=L_0 \cdot \sin(i\pi/6)$ ($i=1,2,\dots,6$)来定义.这里, L_0 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, β 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.

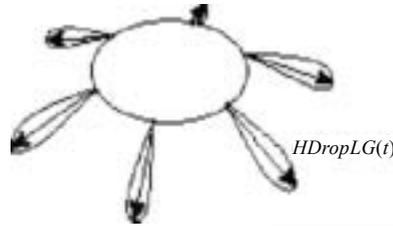


Fig.4 Skeleton model of rains drops hitting the ground
图 4 落地雨滴骨架模型

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 $SkltNum(l)=SkltMeanNum(l)+\Delta$ (各参数意义与小雨模型中相同);
- b. 生成落雨轨迹骨架属性 $SkltTheta(l), SkltLength(l), SkltP(l)$;
- 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个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.由于在三维模型中不需要分别处理近、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我们的主页 <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

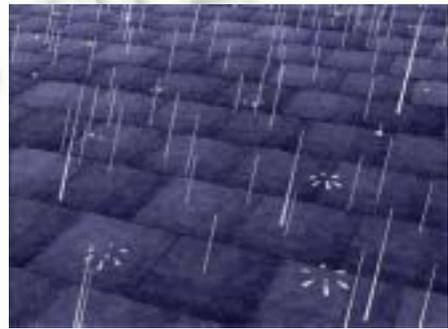


Fig.6 3D carton rain generated by the model
图6 模型生成的三维卡通雨画面

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所带来的机械感.
- (2) 我们的模型不仅能再现传统二维卡通下雨效果,而且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的意义的结果,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) 若想以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.采用该模型,只需通过控制少量几个参数就可以十分容易地改变下雨的方向与速度.

References:

- [1] Haeberli, P. Painting by numbers: abstract image representations. In: ACM, ed. Proceedings of the SIGGRAPH'90. ACM Press, 1990. 207~214.
- [2] Meier, B.J. Painterly rendering for animation. In: ACM, ed. Proceedings of the SIGGRAPH'97. ACM Press, 1997. 477~484.
- [3] Deussen, O., Strothotte, T. Computer-Generated pen-and-ink illustrations of trees. In: ACM, ed. Proceedings of the SIGGRAPH 2000. ACM Press, 2000. 13~19.
- [4] Klein, A.W., Li, W., Kazhdan, M.M., *et al.* Non-Photorealistic virtual environments. In: ACM, ed. Proceedings of the SIGGRAPH 2000. ACM Press, 2000. 527~534.
- [5] Lake, A., Marshall, C., Harris, M. Stylized rendering techniques for scalable real-time 3D animation. In: Fekete, J.D., Salesin, D.H., eds. Proceedings of the Non-Photorealistic Animation and Rendering. ACM SIGGRAPH/Eurographics, 2000.
- [6] Markosian, L., Meier, B.J., Kowalski, M.A., *et al.* Art-Based rendering with continuous levels of detail. In: Fekete, J.D., Salesin, D.H., eds. 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, ed. Proceedings of the SIGGRAPH'97. ACM Press, 1997. 407~414.
- [8] Hertzmann, A., Perlin, K. Painterly rendering for video and interaction. In: Fekete, J.D., Salesin, D.H., eds. 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: Boulic, R., Hegron, G., eds. Proceedings of the Computer Animation and Simulation'96. 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, *et al.* A Cartoon water model for stereo animation. Journal of Software, 2001,12(7): 950~966 (in Chinese).
- [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.
- [12] 于金辉,徐晓刚,万华根,等.一个用于立体卡通动画的流水模型.软件学报,2001,12(7):950~966.
- [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 February 26, 2002; accepted June 10, 2002

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