

DOI:10.16356/j.1005-2615.2020.05.010

基于样例的祥云图案生成模型

方建文¹, 周小龙¹, 曹文明¹, 李勋祥², 范伟¹, 韩雪龙¹

(1. 衢州学院电气与信息工程学院, 衢州, 324000; 2. 温州大学美术与设计学院, 温州, 325035)

摘要: 祥云图案的创作目前主要依赖手工绘制, 现有的大部分研究工作主要针对真实感云和烟的模拟和绘制, 本文提出一个基于样例和交互式草图的祥云图案生成模型。首先对手绘的祥云图案样例进行特征线的提取并归一化后形成特征库; 用户输入简单的二维草图来分别表示云头、云体和云尾的骨架曲线; 算法对云体和云头的草图轨迹进行非均匀自动划分得到生成线段集, 利用这些线段到特征库中寻找相应的特征曲线并安装来得到云体和云头部分; 通过对云尾骨架曲线进行平移和缩放来过程化生成云尾部分。实验结果表明, 通过该生成模型, 用户通过很少的交互和参数控制就可以生成大量具有手绘风格特征的祥云图案。

关键词: 祥云图案; 样例; 结构分析; 特征提取; 交互式草图

中图分类号: TP391.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-2615(2020)05-0746-06

Example-Based Approach for Modeling Cloud Patterns in Chinese Traditional Style

FANG Jianwen¹, ZHOU Xiaolong¹, CAO Wenming¹, LI Xunxiang², FAN Wei¹, HAN Xuelong¹

(1. College of Electrical and Information Engineering, Quzhou University, Quzhou, 324000, China;

2. College of Art and Design, Wenzhou University, Wenzhou, 325035, China)

Abstract: Currently auspicious clouds are mainly created by hand. Most of previous research works focus on realistic cloud and smoke simulation, and little effort has been paid to the cloud patterns with traditional Chinese style. A data-driven and sketch-based cloud generation model with traditional Chinese style is presented. First, the feature curves are extracted from the hand-painted auspicious cloud pattern samples and normalized to form a feature library. The user draws a simple two-dimensional sketch to represent the skeleton curves of the cloud head, cloud body and cloud tail respectively. The algorithm performs non-uniform automatic division of the cloud body sketch trajectory to obtain a generated line segment set and then find the suitable curve depending on every line segment in the feature library and mount it. The cloud tail part is procedurally generated by panning and scaling the cloud tail skeleton curve. Experimental results show that the proposed model is able to generate a wide variety of auspicious cloud patterns with hand-painted style features with little interaction and parameter control.

Key words: auspicious cloud pattern; example; structure analysis; feature extraction; interactive sketch

祥云图案在中国悠久历史发展中传承和演变, 成为最富有中国民族特色的装饰图案之一。它造型飘逸独特, 婉转优美, 具有极高的审美价值、文化

价值和应用价值, 已经被广泛装饰在古代建筑、雕刻、服饰、器具及各种工艺品上。在举世瞩目的 2008 年北京奥运会上, 采用祥云装饰图案的火炬

基金项目: 国家社会科学基金(19BC030)资助项目; 浙江省自然科学基金(LY15F020041, LY16F030013)资助项目; 浙江省公益技术研究计划(LGG18F010013)资助项目; 衢州市科技计划(2018Z06, 2019K16)资助项目。

收稿日期: 2020-06-28; **修订日期:** 2020-07-30

通信作者: 方建文, 男, 教授, E-mail: qzjw@163.com。

引用格式: 方建文, 周小龙, 曹文明, 等. 基于样例的祥云图案生成模型[J]. 南京航空航天大学学报, 2020, 52(5): 746-751. FANG Jianwen, ZHOU Xiaolong, CAO Wenming, et al. Example-based approach for modeling cloud patterns in Chinese traditional style[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2020, 52(5): 746-751.

手柄和吉祥物火娃欢欢受到全世界的广泛关注和好评。祥云图案还被广泛应用到影视动画、广告和游戏等各种新媒体形式中。

祥云是云和烟的一种抽象表现形式,通过线条的方式来表示云和烟的形状,同时通过对线条和形状等艺术处理来表达创作者的审美情趣和民族特色。相关的利用非真实感绘制技术对图案生成及对云烟进行建模和绘制的研究工作可以分为两类:基于交互式过程化生成和基于物理建模的卡通动画生成。

基于交互式过程化生成。研究手段主要通过分析图案特征和构图方式,通过过程化的方法如对点、线和圆等基本图元进行布局分布控制来实现图案的生成。通过曲线填充算法、各种对称算法等生成如波斯风格的花卉装饰图案^[1]、伊斯兰风格的星形图案等^[2];通过交互式切割、特征匹配和过程化文法推理等生成中国民族特色图案,如剪纸^[3-6]、京剧脸谱^[7]、青铜器表面纹饰^[8]、中国兽面纹^[9]以及云南刺绣等^[10];利用驱动粒子在向量场中运动并将其作为生成规则来生成古代卷草纹样的生成^[11];基于弹簧模型来实现基本图元在限定区域的自动定位和填充,从而得到有趣的图元填充结果^[12];通过人机交互的方式画出一系列随时间不断变化的二维路径,然后算法将这些路径扩张成三维路径并从而生成动画,该方法需要大量的人机交互^[13];利用参数化方法分别构造烟团、烟缕和烟尘等形状特征和变换规律,通过引入随机分量控制及过程化改变参数等方式实现烟动画^[14-15];利用圆形作为基本图元,利用过程化的方法来沿着椭圆边界动态生成分布不同半径的圆,并通过控制这些圆沿着椭圆边界运动来生成类似影视动画中的祥云动画^[16];采用质心维诺图(Centroidal voronoi diagram, CVD)的方式控制圆的大小和分布来生成祥云图案^[17]。

基于物理建模生成。该类方法主要通过求解经典流体力学 Navier-Stokers 方程实现对云和烟的物理建模,然后在物理模型的基础上采用非真实感绘制方法进行绘制。利用基于 Naviers-Stoker 方程物理模拟器驱动粒子运动,绘制时粒子用形状基元来进行绘制,最后通过利用显示缓冲区的深度差值来提取特征线^[18];在物理驱动的基础上,给出一种能实时绘制卡通渲染、轮廓线和自阴影效果的卡通烟雾动画^[19];利用平滑粒子动力学(Smoothed particle hydrodynamics, SPH)模型将烟建模为 $10^2 \sim 10^3$ 个平滑粒子,绘制阶段将粒子看成椭球体,通过利用显示缓存中法向矢量图和深度图来实现卡通烟雾动画^[20];基于物理模型生成密度场上提取隐式曲面,在曲面上进行特征线的提取,实现草图式线条绘制和卡通风格渲染^[21]。这些方法采用与真实感

相同的物理模型进行三维建模,然后在绘制阶段通过使用不同形状基元(如圆盘、椭球体等)来得到深度图或者法向矢量图,利用这些图来提取特征线并实现卡通风格渲染。

由于传统的祥云图案很多都是手绘得到,其形状和构图难以通过物理模型参数调控和过程化方法的参数设置来生成艺术家需要的祥云图案形状,同时绘制中采用圆盘、椭球体等简单形状基元所得到的绘制结果有较严重的机械和重复感,大大降低了生成结果的美感价值。

1 祥云形状结构分析和系统框架

图1(a)是手工绘制的一个简单的祥云图案,它可以分为云头、云体和云尾3部分构成。其中云体主要由多段长度不同的类似圆弧线条连接而成;而云头主要有内卷的线条构成,对一朵祥云来说,一般最多2个云头;而云尾部分主要有平头和尖头两种形状,平头形状用来表示云朵之间的连接效果,尖头的形状表示云朵的运动方向(图1(b))。图1(b)就是由5朵简单祥云叠加组合得到的复杂祥云图案,所以系统将祥云图案分解成“祥云→云朵→云头、云体和云尾”3个层次结构,祥云由云朵按一定的分布方式组成,而每个云朵由云头、云体和云尾构成。

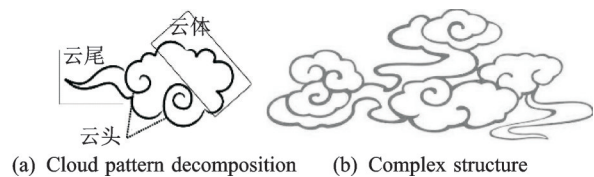


图1 祥云构成

Fig.1 Auspicious cloud composition

针对目前各种算法存在的各种局限性,本文提出了一种基于样例来生成传统祥云图案的生成算法(图2)。在特征提取阶段利用3次Bezier曲线从手绘样例作品中提取云头、云体和云尾特征线条并归一化形成祥云特征库,生成的特征库可以重复使用;在生成阶段主要分成4个步骤,首先通过交互式的方法得到要创作的祥云图案的草图,草图主要表达云体的大致形状、云头和云尾位置及大小等;生成算法根据简单的参数设定对云体草图进行划分得到折线图;特征选择和安装算法根据每条折线和云头线条在特征库中通过选择算法选择合适的特征线条进行安装;利用过程化方法生成云尾部分;最后通过风格化的线条绘制方法进行绘制得到多种风格的祥云图案。

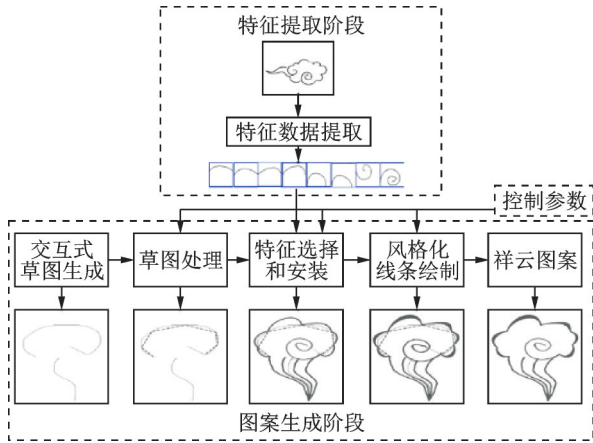


图2 算法框架
Fig.2 Algorithm framework

2 祥云图案结构分析和特征数据提取

贝塞尔曲线是计算机图形图像造型的基本工具,是图形造型运用得最多的基本线条之一,它可以通过移动控制节点实现生成曲线的线段像可伸缩的皮筋特性,能很好地拟合各种造型曲线。系统采用分段的3次Bezier曲线来拟合样本图案的云体和云头曲线。设 P_0, P_1, P_2 和 P_3 是平面中的4个控制点(图3(a)),利用式(1)计算得到一段光滑曲线,即

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

如图3(b)所示,用户在工具界面中可以方便地设置端点和移动控制点位置样本曲线进行拟合。对于云体来说,每个样本特征(1段圆弧)由1段3次Bezier曲线来拟合。由于云头结构比较复杂,云头样本特征采用多段Bezier曲线进行拟合。

为把取得每个特征曲线的控制点坐标都进行归一化到 $[0, 1]$ 空间中去,归一化过程分两步,假设现在要归一化控制点 P_0, P_1, P_2, P_3 ,对4个点做绕 P_0 点顺时针旋转倾斜角度 θ ,然后求出4个点的最小包围盒的长度和高度,把控制点的坐标都变换到 $[0, 1]$ 空间中。图3(c)显示的就是经过归一化后显示的样本曲线,包含了6个云体样本和2个云头样本曲线。对云体特征线,计算 $\rho_i =$

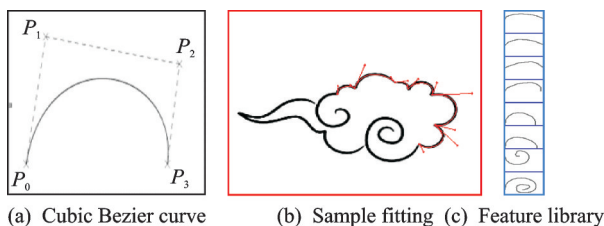


图3 特征提取
Fig.3 Feature extraction

$$\frac{L(\overline{P_i P_{i+1}})}{|P_i P_{i+1}|} \quad (0 \leq i \leq n-1),$$

这个参数 ρ_i 用来近似反映弧形和对应弦的接近程度。对于每段云体特征线需要保存的数据为4个归一化后点坐标 $\{P_0, P_1, P_2, P_3\}$ 和 ρ_i ,云头部分只保存归一化后的所有分段Bezier控制点。这些数据用库文件的形式永久保存,需要时可以加载使用。由于每段曲线只保存4个点的坐标,需要曲线时通过式(1)动态生成,所以数据量非常小。归一化过程如图4所示。

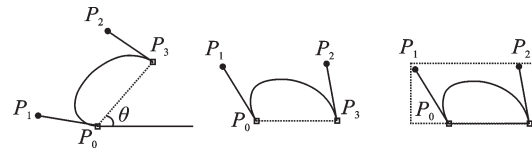


图4 归一化过程
Fig.4 Normalization process

3 祥云图案生成

3.1 交互式草图生成与处理

在图案生成模式下,在生成界面上分别选择云体、云头和云尾3个不同选项后,通过捕捉鼠标移动轨迹来快速得到祥云图案云体、云头和云尾的草图。图5(a)给出了1个草图生成线样式,点 B_1 到 B_2 之间的曲线为云体生成线 C_b, H_1 到 H_2 之间的曲线为云头生成线 C_h, T_1 到 T_2 之间的曲线 C_t 为云尾生成线。其中 H_1 可以位于 C_b 上的任何位置,1条云头生成线代表生成1个云头,根据需要可以没有或多个。算法对云体生成线 C_b 上非均匀折线(不封闭)或多边形(封闭)划分得到取 n 个划分点 $P_i(1 \leq i \leq N)$ (图5(b)),用一个随机过程模型来生成 n 个划分点,划分点的满足条件

$$L(\overline{P_i P_{i+1}}) = \frac{(\Delta + 1)}{2} \times T \quad 1 \leq i \leq n-1 \quad (2)$$

式中: $L(\overline{P_i P_{i+1}})$ 表示弧长; Δ 为0到1范围内的一个随机数; T 为系统设定的一个控制参数,这样就可以把每段弧长控制在基本长度的0.5~1.5倍之间。当 C_b 的起点和终点距离小于某个阈值时就做

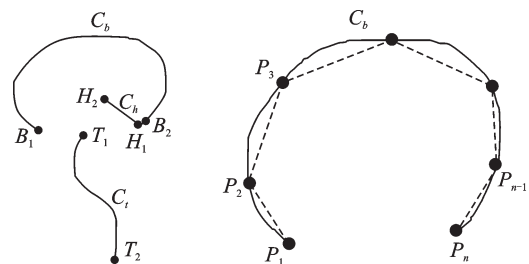


图5 草图构成
Fig.5 Sketch composition

封闭的多边形划分。下文中 C_b, C_h, C_l 成为草图线, 对应的 $\{P_i\}, \{H_{ij}\}, \{T_i\}$ 称为生成线顶点, 其中云头和云尾不进行划分, 其生成线取 C_h 和 C_l 的首尾定点组成。通过改变控制参数 T 就能控制点的密度, 同时随机变量 Δ 的引入可以使得划分更丰富, 符合手绘的风格特点。

3.2 样本安装

样本安装主要分为云体安装和云头安装两部分, 分别取云头生成线 $P_i P_{i+1}$, 计算线段长度 l_i 和倾

斜角度 θ_i , 取 $\hat{\rho}_i = \frac{\int_{P_i}^{P_{i+1}} C_b ds}{|P_i P_{i+1}|}$, 其中 $\int_{P_i}^{P_{i+1}} C_b ds$ 表示生

成线 $P_i P_{i+1}$ 在笔迹曲线 C_b 中的长度, 在云头特征库里面通过特征选择算法选取一段样本数据 S_i , 对样本点进行逆时针旋转 R (旋转量为 θ_i), 然后放大变换 S (放大系数为 l_i), 最后进行移变换 D (平移量为 $P_i - P_0$, 其中 P_0 为样本中的第 1 个点), 对变换后的样本点使用式 (1) 生成 Bezier 曲线完成安装。特征选择算法有 3 种选择方案: 第 1 种是用随机选择方法到样本库中选择 1 个特征段, 该算法能避免过匹配现象, 相同的草图能生成更丰富的结果; 第 2 种最优选择算法选择库中 ρ 值与 $\hat{\rho}_i$ 值最接近的特征段, 这种算法能最大保证生成的图形与草图具有最大相似度, 但容易出现过匹配的现象; 第 3 种可以通过交互式的方式由用户进行指定。本文实例采用随机选择方法进行生成, 这样能看到更丰富的生成结果。

云头的安装与云体安装类似, 只不过取草图曲线 C_h 中的首尾两个点作为生成线来处理, 选择算法采用随机选择算法或用户指定完成。

3.3 云尾生成

云尾采用过程化方法生成。系统生成平头和尖头两个种风格的云尾。根据要生成的云尾线条的数量 (N), 在云头的 $B_1 B_2$ 线段上进行均分得到几个分段点, 然后把云尾草图曲线 $T_1 T_2$ 分别平移到几个分段点进行绘制得到平头云尾 (图 6 中间); 对平头云尾两边缘线条对应点距离线性的渐变减少到 0 就可以生成尖头云尾 (图 6 右边)。

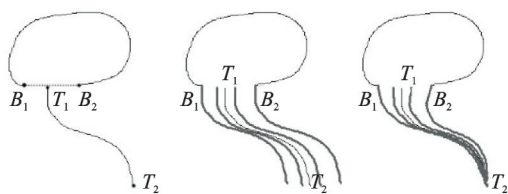


图 6 云尾生成过程

Fig.6 Generation process of cloud tail

3.4 风格化线条绘制

粗细变化的线条也是传统祥云图案的一个重要特征, 很多祥云的圆弧都呈现中间粗两端细的笔触风格。先通过控制点 (P_0, \dots, P_3) 绘制 3 次 Bezier 曲线时得到线条的内边缘 C_1 (图 7(a)), 然后分别取 $P_0 P'_1 = \lambda P_0 P_1, P_3 P'_2 = \lambda P_3 P_2, \lambda$ 取 $[1.1, 1.2]$ 之间的一个随机值。由 $P_0 P'_1 P'_2 P_3$ 绘制 3 次 Bezier 曲线得到线条的外边缘 C_2 (图 7(b)), 然后通过对内边缘和外边缘构成的区域进行填充来得到这种笔触风格的线条 (图 7(c))。

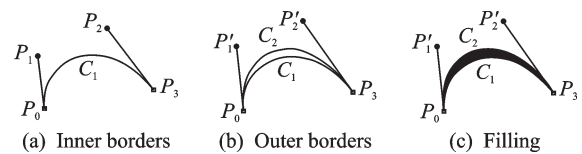


图 7 笔刷风格线条生成

Fig.7 Generation process of brush style curve

4 结果分析

图 8 为算法运行结果。左边带框为手绘的样本数据, 只包含云体部分, 系统从中可以提取 6 个样本线条; 右边为算法的绘制结果, 其中右边第 1 行是在相同生成多边形情况下的几种绘制结果, 右边第 2 行为在不同划分生成多边形情况下几种生成结果, 第 1 行和第 2 行都是在同一个草图的情况下的绘制结果, T 取值 40 像素 (该值的主要设定为样本弧长的平均长度的 0.5~1.5 倍之间, 这样生成的风格与样本比较相似)。第 3 行为在不同草图、不同生成线以及不同 T 的情况下的绘制结果。从实验结果可以看出, 只要很小的样本数据, 很少的交互操作, 就可以生成风格类似的多种绘制结果, 大大提高了创作效率。



图 8 云体在不同参数条件下的生成结果

Fig.8 Generated results of cloud body under different parameters

图 9 为系统的一些生成结果, 这些结果包含了云体、云头和云尾部分以及采用不同的线条风格。通过不同的参数组合使用, 可以快速生成各种用户满

意的结果。图8和图9中,方框内为手工绘制的祥云图案,右边不带框的是计算生成结果。可以看出,系统生成结果保持了手工绘制样本的风格特征,同时又可以生成多种形状结构有丰富变化的祥云图案。

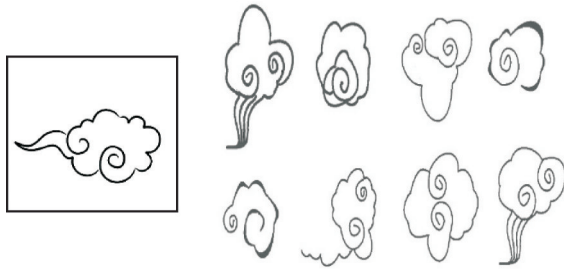


图9 系统生成各种祥云图案

Fig.9 System generated various auspicious cloud patterns

5 结 论

本文提出一个基于样例的祥云图案的生成与绘制方法,生成的祥云图案在形状上保持了手工绘制样例图案的特征,同时用户又能通过简单交互式的草图和参数实现不同形状和风格的祥云图案的灵活控制。系统设置少量参数和交互就可以方便地对祥云的大小、形状、线条特征和云尾风格等进行控制,很好地克服了传统手工绘制方法的费时费力,也满足了艺术创作的个性化需求,同时极大地提高了创作效率。该系统可以作为图案设计、动漫制作、游戏和广告等领域的辅助制作工具。在下一步的工作中,在特征提取方面拟在样本特征线条的自动化提取、曲线Bezier化以及祥云各部分的自动识别等方面展开进一步的研究,在图案生成方面,进一步研究基于整体特征的全局控制方法,实现局部特征数据的最优化组合和控制。

参考文献:

- [1] WONG M T, ZONGKER D E, SALESIN D H. Computer-generated floral ornament[C]//Proceedings of ACM SIGGRAPH' 98. New York: ACM, 1998: 423-434.
- [2] KAPLAN C S, SALESIN D H. Islamic star patterns in absolute geometry[J]. ACM Transactions on Graphics, 2004, 23(2): 97-119.
- [3] LIU Y X, HAYS J, XU Y Q, et al. Digital papercutting [C]//Proceedings of ACM SIGGRAPH' 98 Sketches. New York: ACM, 2005: 99.
- [4] 张显全,于金辉,蒋凌琳,等.计算机辅助生成剪纸形象[J].计算机辅助设计与图形学学报,2005,17(6): 1378-1382.
- [5] ZHANG Xianquan, YU Jinhui, JIANG Linglin, et al. Computer assisted generation of paper cut-out images [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2005, 17(6): 1378-1382.
- [6] XU J, KAPLAN C S, MI X F. Computer-generated papercut-ting[C]//Proceedings of Pacific Graphics' 07. Washington: IEEE Computer Society, 2007: 343-350.
- [7] MENG M, ZHAO M, ZHU S C. Artistic paper-cut of human portraits[C]//Proceedings of the International Conference on Multimedia' 10. New York: ACM, 2010: 931-934.
- [8] 蔡飞龙,彭韧,于金辉.京剧脸谱分析与合成[J].计算机辅助设计与图形学学报,2009,21(8): 1092-1097.
- [9] CAI Feilong, PENG Ren, YU Jinhui. Analysis and synthesis of peking opera facial make-ups [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2009, 21(8): 1092-1097.
- [10] 胡晏秋,于金辉,姜威,等.面向青铜器的建模与绘制 [J].计算机辅助设计与图形学学报,2008,20(9): 1140-1196.
- [11] HU Yanqiu, YU Jinhui, JIANG Wei, et al. Modeling and rendering of bronze articles [J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2008, 20(9): 1140-1196.
- [12] CHI M T, LIOU W C. Oriented animal-mask decoration pat-tern generation[C]//Proceedings of CGIV. Washington: IEEE Computer Society, 2012: 7-12.
- [13] CUI J, TANG M X. Chinese pattern design using generative shape grammar [C]//Proceeding of Generative Art Conference. Italy: [s.n.], 2010: 128-139.
- [14] 赵海英,王婷婷.面向设计的装饰纹样基因生成算法研究[J].图学学报,2019,40(4): 810-815.
- [15] ZHAO Haiying, WANG Tingting. Research on the design-oriented ornament pattern gene regeneration algorithm [J]. Journal of Graphics, 2019, 40(4): 810-815.
- [16] SAPUTRA R A, KAPLAN C S, ASENTE P. RepulsionPak: Deformation-driven element packing with repulsion forces [C]//Proceedings of the 44th Graphics Interface Conference. New York: ACM, 2018: 10-17.
- [17] FIORE F D, CLAES J, REETH F V. A framework for user control on stylised animation of gaseous phenomena [C]//Proceedings of Computer Animation and Social Agents. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004: 171-178.
- [18] 于金辉,徐晓刚,彭群生.计算机生成卡通烟雾动画 [J].计算机学报,2000,23(9): 987-990.
- [19] YU Jinhui, XU Xiaogang, PENG Qunsheng. Computer generation of cartoon smoke [J]. Chinese Journal

- of Computers, 2000, 23(9): 987-990.
- [15] 陈天洲, 黄颖, 于金辉. 计算机生成3维卡通烟尘动画[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(5): 679-683.
CHEN Tianzhou, HUANG Ying, YU Jinhui. Computer generation of 3D cartoon puff and dust[J]. Journal of Image and Graphics, 2006, 11(5): 679-683.
- [16] 方建文, 彭韧, 于金辉. 计算机生成中国传统祥云动画[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(12): 1660-1665.
FANG Jianwen, PENG Ren, YU Jinhui. Computer generation of cloud animation with a Chinese traditional style[J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(12): 1660-1665.
- [17] CHIM T, HU C C, JHAN Y J. A sketch-based generation system for oriental cloud pattern design[C]// Proceedings of Smart Graphics. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014: 27-38.
- [18] SELLE A, MOHR A, CHENNEY S. Cartoon rendering of smoke animations[C]// Proceedings of NPAR'04. New York: ACM, 2004: 57-60.
- [19] MCGUIRE M, FEIN A. Real-time rendering of cartoon smoke and clouds[C]// Proceedings of NPAR'06. New York: ACM, 2006: 21-26.
- [20] HE H T, XU D Q. Real-time cartoon animation of smoke[J]. Computer Animation and Virtual Worlds, 2005, 16(3/4): 441-449.
- [21] ÁLVAREZ E J, CAMPOS C, MEIRE S G, et al. Interactive cartoon rendering and sketching of clouds and smoke[C]// Proceedings of the 7th International Conference on Computational Science. Berlin Heidelberg: Springer, 2007: 138-145.

(编辑:刘彦东)