

# 基于 DLA 模型的花式纱线真实感模拟算法<sup>①</sup>

郭炜杰 张瑞林 (浙江理工大学 信息电子学院软件工程研究所 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 主要研究了分形生长理论的基本模型——扩散有限凝聚(DLA)模型,分析并实现了 DLA 模型的计算机模拟方法,并对模型演变进行了讨论,得到了形式多样的凝聚效果。并且将 DLA 模型结合纱线和织物模拟相关技术和结论,用双侧线性 DLA 模型算法生成纱线毛羽模版,与基础纱线进行纹理合成,对纱线毛羽效果进行了较为真实的模拟。用这种方法能够较为逼真的反应出花式纱线不规则、随机多变且局部自相似的毛羽特征。

**关键词:** 分形理论; DLA 模型; 花式纱线; 真实感模拟; 光照模型

## A New Method to Simulate Fancy Yarn Based on DLA Model

GUO Wei-Jie, ZHANG Rui-Lin

(Institute of Software Engineering, Department of Information & Electrons, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** This paper mainly studies the basic model of fractal growing theory—DLA Diffusion Limited Aggregation Model. The method of computer simulation of DLA model is analyzed and realized. And the evolvement of the model is discussed. Multiple styles of aggression effect are figured out. Combing DLA model with the techniques and conclusions of simulating yarns and fabrics, this paper also uses double-side leaner DLA algorithm to generate the fluffy template. It makes texture synthesis with basic yarn image to simulate the fluffy effect. The algorithms studied in this paper are effective to reflect the fluffy characteristics of fancy yarns: irregularity, random diversity and local self-similarity.

**Keywords:** fractal theory; DLA model; fancy yarn; simulation of 3-Dimantion; illumination model

## 1 引言

1975年,美籍法国数学家曼德布罗特(Benoit Mandelbrot)提出了一种可以用于描绘和计算粗糙、破碎或不规则客体性质的新方法,并创造了分形(fractal)一词来描述<sup>[1]</sup>。分形应具有“精细的结构”、“无限不规则”、“自相似”、“分形维数大于拓扑维数”、“可迭代产生”等性质<sup>[1,2]</sup>。分形作为几何对象,它的外表特征一般是极易破碎、不规则和复杂的,而其内部特征则是具有自相似性和自仿射性。分形理论作为非线性学科中的一个年轻分支,目前已广泛应用于自然科学的各个领域<sup>[3]</sup>,在物理学、化学、地质学、生物学等领域内,分形理论具有重要的应用价值和广阔

的发展前景。

1981年,美国密歇根大学的 Witten 和 Sander 提出了一个扩散有限凝聚(Diffusion Limited Aggregation)的分形生长模型<sup>[4]</sup>,简称 DLA 模型。最初该模型提出时主要是为了研究悬浮在大气中的煤灰、金属粉末或烟尘扩散的凝聚问题。通过收集和阅读相关文献,目前 DLA 模型主要应用在分形聚集生长<sup>[5,6]</sup>、絮凝体仿真模拟<sup>[7]</sup>、植物生长模拟<sup>[8,9]</sup>以及图案设计<sup>[10]</sup>等方面,而在纱线外观真实感模拟领域却少有研究。本文在建立纱线外观模型、生成基础纱线模版的基础上,结合 DLA 模型模拟纱线能够较好的体现纱线不规则毛羽的效果。

① 基金项目:浙江省自然科学基金(Y106148)

收稿时间:2009-08-18;收到修改稿时间:2009-09-27

## 2 模型建立及算法实现

在 DLA 模型中,其生长过程如下:粒子一个一个地从某一外部区域释放出来,并使其做无规则运动,当它与生长着的凝聚体相接触时,便附着在其上,也就是凝聚在生长着的凝聚体之上,在粒子的每一步运动中,其运动方式完全是随机的。算法过程如下:

① 设置位图图像大小,一个粒子占一个像素位置,设置种子位置和粒子释放区域,并设置凝聚区域。

② 循环是否达到迭代次数,是则算法结束;否则在粒子释放区域的随机位置上生成一个粒子。

③ 该粒子在平面做布朗运动。上下左右四个方向运动的概率是相等的。

④ 粒子每移动一个像素位置,判断该粒子位置是否超出凝聚区域,是则粒子消失,回到②重新生成一个粒子。

⑤ 判断该粒子周围 4 个位置有没有发现已有粒子存在,否则回到③继续做布朗运动。有则粒子凝聚,即将当前粒子所在位置的像素点颜色设置为凝聚体颜色,回到②释放一个新的粒子。

若种子放在画布中心一点,在圆周上产生随机粒子。则生成圆周辐射状凝聚体,如图 1 所示。

若种子成直线放置(直线看看成是一长串种子),在离种子直线距离  $d$  的平行直线上随机生成粒子,则生成的图形如图 2 所示。



图 1 圆周辐射状的 DLA 模型

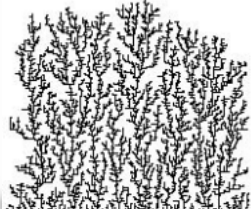


图 2 直线植物生长状的 DLA 模型

## 3 纱线模拟算法及其实现



图 3 两种花式纱线实物照片

纱线模拟是织物真实感模拟研究的一个子课题,

纱线模拟主要是对线形结构、加捻屈曲外观以及毛羽效果的模拟,纱线毛羽自身存在随机不规则的特性,以及局部自相似性,因此考虑用分形相关方法来模拟纱线。

为了简化模型,假设单股未加捻纱线为圆柱体模型,光线垂直射入纱线表面,则  $a$  处最亮,向两边  $b$ 、 $c$  逐渐变暗,如图 4 所示。

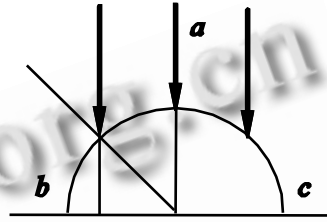


图 4 纱线表面光照模型

在选定纱线颜色之后,即可以确定纱线颜色的  $R$ 、 $G$ 、 $B$  三个分量值,将其转换到  $HLS$  颜色空间,即可以得到纱线颜色的  $H$ 、 $L$ 、 $S$  三个分量值,利用 Lambert 漫反射余弦定理。

$$I_d = k_d I_l \cos \theta \quad (1)$$

其中,  $I_d$ : 表面反射光强度,  $I_l$ : 来自光源的入射光强度,  $k_d$ : 表面漫反射率,  $0 \leq k_d \leq 1$ ,  $\theta$ : 入射角,  $0 \leq \theta \leq \pi/2$ 。

计算出纱线不同位置的光照强度值  $L$ ,再将  $HLS$  分量值逐个转换到  $RGB$  颜色空间。多股单纱加捻后,其空间几何形态为空间螺旋线,投影到二维平面上,可视为余弦曲线(图 5)。

$$y = \frac{D}{2} \cos\left(\frac{\pi}{b}x\right), x \in [0, b] \quad (2)$$

其中,  $D$ : 纱线直径;  $b$ : 捻回长度;  $a$ : 加捻线宽度;  $\theta$ : 捻回的倾斜度

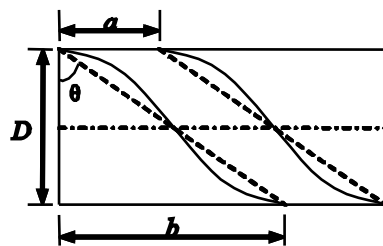


图 5 加捻线平面投影结构

对于多股加捻纱线，需要体现出两方面的效果：其一，单纱加捻前的明暗效果，其二，是纱线加捻后所应该整体考虑的明暗效果。因此可以在其加捻方向上循环绘制一系列有明暗变化的余弦半波曲线(式 2)，对于 Z 捻还是 S 捻，可以设置加捻方向标志位来确定。然后对加捻后的纱线进行整体光照处理，生成基础纱线模版，如图 6 所示。



图 6 基础纱线模拟效果

纱线的毛羽效果出现在主纱线周围，用双侧直线凝聚 DLA 模型来生成毛羽模版，迭代次数，即粒子释放的个数，控制毛羽长度，粒子运动方向控制毛羽方向。

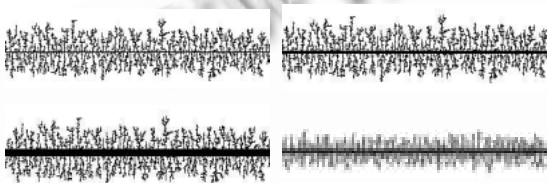


图 7 DLA 模型生成的纱线毛羽模版

然后用图像纹理合成的方法，将基础纱线图像和毛羽模版叠加，再经过加噪和模糊等图像处理方法，完成对纱线效果的初步模拟。如图 8 所示。

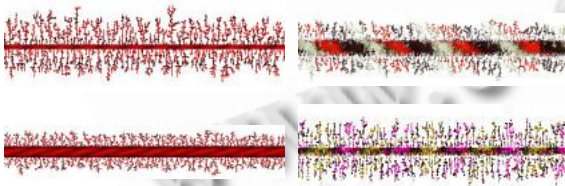


图 8 花式纱线真实感模拟效果图

#### 4 模型讨论与改进

通过对模型的分析可以得知，有五种途径改变凝聚样式，1)改变种子分布区域；2)改变粒子释放区域或粒子分布概率；3)改变粒子运动方向的概率；4)改变粒子凝聚着色时的凝聚方式；5)改变有效凝聚范围。

下面以种子成直线分布为例讨论相关参数对凝聚结果的影响(释放 3000 个粒子)。

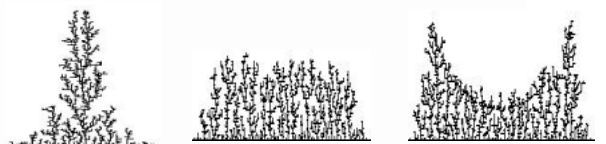
#### 4.1 释放区域讨论

一个粒子占一个像素点位置，粒子按照某种分布规律逐个从设置区域释放出来。具体做法是将自动产生的一个随机数映射到某区域中的一个像素点的坐标，该坐标即为粒子运动的起始坐标。假设粒子运动方向为等概率的左、右、下三个方向，凝聚方式为四个方向上的完全凝聚。

1) 点区域，粒子从某一点或者某几个离散点位置随机均匀的释放。如图 9(a)。

2) 直线区域，粒子在某一直线上随机均匀的释放。如图 9(b)。

3) 圆周区域，粒子在某一圆周上随机均匀的释放。如图 9(c)。



(a)点区域 (b)直线区域 (c)圆周区域

图 9 不同粒子释放区域生成的凝聚效果

#### 4.2 运动方向讨论

假设粒子释放区域为直线，凝聚方式为四个方向上的完全凝聚。

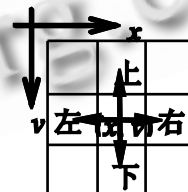


图 10 布朗运动四个方向

表 1 各个方向的概率组合表

| 方向<br>概率 | 向上移<br>动的概<br>率 | 向左移<br>动的概<br>率 | 向下移<br>动的概<br>率 | 向右移<br>动的概<br>率 | 生成图     |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|
| P0       | 0               | 0.333           | 0.334           | 0.333           | 图 11(a) |
| P1       | 0               | 0.2             | 0.6             | 0.2             | 图 11(b) |
| P2       | 0               | 0               | 1               | 0               | 图 11(c) |
| P3       | 0               | 0.45            | 0.1             | 0.45            | 图 11(d) |

#### 4.3 凝聚方式讨论

传统 DLA 算法中，运动的粒子遇到已存在的上、

下、左、右任一方向上的凝聚体便附着上去。假设粒子释放区域为直线，运动方向为等概率的左、右、下三个方向，改变附着条件可生成不同的凝聚效果。

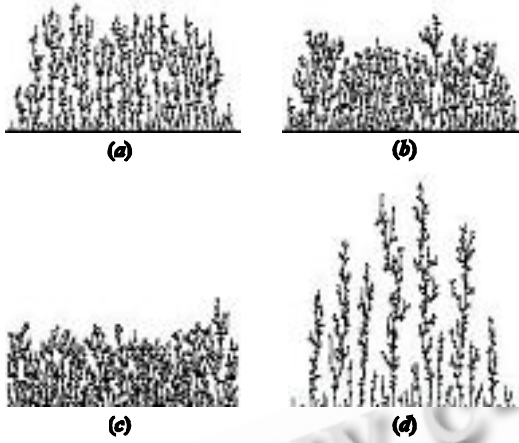


图 11 不同移动概率组合下的凝聚效果

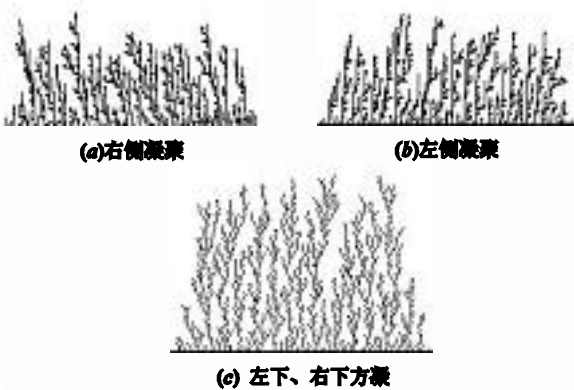


图 12 不同凝聚方式生成的凝聚效果

#### 4.4 凝聚范围讨论

设置凝聚边界，当粒子超过某一凝聚范围时便消失，这种方法类似于滤波器。假设运动方向为等概率的左、右、下三个方向，凝聚方式为左、右、下三个方向上的完全凝聚。

边界函数如：

- 1) 正弦函数： $y=A*\sin(\omega x)$ ，如图 12(a)；
- 2) 叠加随机噪声正弦函数： $y=A*|\sin(\omega x)|+k*\text{rand}(1)$ ，如图 13(b)；
- 3) 叠加随机噪声的盒形函数： $y=A*(\text{mod}(x,2*w_0)<w_0)+k*\text{rand}(1)$ ，如图 13(c)；
- 4) 高斯函数： $y=A*e^{-k*(x-\mu)^2}$ ，如图 13(d)；

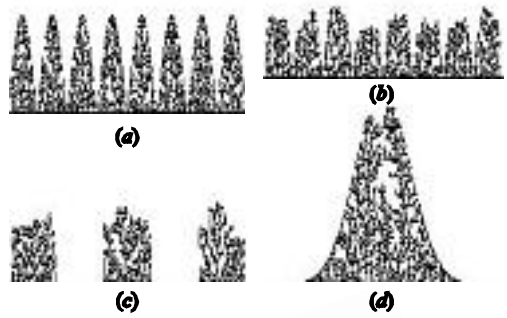


图 13 不同凝聚范围的凝聚效果

结合上述讨论实验得到的结果，通过对种子分布区域、粒子释放区域、运动方向、凝聚方式及有效凝聚范围的综合设置，可生成风格各异的纱线毛羽模版，并叠加基础纱线纹理，得到不同外观的纱线模拟效果。如图 14。

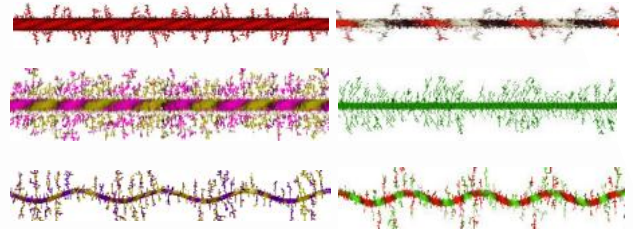


图 14 各种风格的花式纱线模拟效果

#### 5 结论

本文主要研究了分形生长理论中的一个重要模型 DLA 扩散有限凝聚模型及其实现算法，并结合织物仿真模拟技术，将 DLA 模型运用到对花式纱线的模拟当中，得到较好的纱线毛羽效果。而后，通过对 DLA 模型的分析，改变其中某些参数得到凝聚状态各异的 DLA 算法，并将此结果用于花式线毛羽效果的生成，可以得到各种风格的花式线模拟效果。目前分形生长理论主要用于植物生长、晶体生长、絮凝体和电化学沉积等领域，用来模拟纱线织物的相关研究数据还为数不多，本课题研究的方法和结论为纱线及织物真实感模拟开辟了新的思路。

#### 参考文献

- 1 Mandelbrot. The Fractal Geometry of Nature. San Francisco: Freeman, 1982.
- 2 Falconer KJ. Fractal Geometry: Mathematical Found-

(下转第 45 页)

- ation and Applications. Chichester: JohnWiley & Sons Ltd, 1990.
- 3 姜志强.分形理论应用研究若干问题及现状与前景分析.吉林大学学报, 2004,22(1):57-61.
  - 4 Witten S. Effective Harmonic Fluid Approach to low Energy Properties of One Dimensional Quantum Fluids. Phys RevLet, 1981,47:1400-1408.
  - 5 熊裕文.基于 Matlab 的 DLA 模型的计算机模拟.鄂州大学学报, 2006,13(6):12-13.
  - 6 高睿,谢淑云,陶继东.在 MATLAB 平台下实现 DLA 分形聚集生长的模拟.西南师范大学学报, 2005, 30(1):83-86.
  - 7 井敏娜.基于 Matlab 平台的絮凝体分形仿真模拟[硕士学位论文].西安:西安建筑科技大学, 2008.
  - 8 王昊鹏,赵凯,关止.基于 DLA 模型的植物生长模拟研究.微计算机信息, 2007,23(8-3):134-135.
  - 9 刘茗,李存华.分形植物形态的模拟算法研究.长春理工大学学报(自然科学版), 2008,31(2):128-131.
  - 10 石荣高,李淑红.分形 DLA 模型在纺织品图案设计中的应用.山东纺织科技, 2009,(2):34-36.