

# 遗传算法与 IFS 相结合的植物形态模拟<sup>①</sup>

刘树群, 张雯雯

(兰州理工大学 计算机与通信学院, 兰州 730050)

**摘要:**传统迭代函数系统(iterated function system, 简称为 IFS)的植物形态模拟与植物的自然进化过程差别很大。将 IFS 与遗传算法相结合进行植物形态的模拟, 将 IFSP 码设为遗传算法中个体的基因; 并对基因进行选择, 交叉等遗传操作; 设置了合理的适应度函数对生成的植物个体进行评价, 使模拟结果体现自然界中物种的遗传与进化。本文模拟出具有分形特征且更符合自然规律的植物。

**关键词:**分形; IFS; 遗传算法; 植物模拟; 适应度函数;

## IFS and Genetic Algorithm Studying in Simulation of Plant

LIU Shu-Qun, ZHANG Wen-Wen

(School of Computer and Communication, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** Traditional iterated function system (abbreviated as IFS) of the plant simulation and the natural evolutionary process of plants vary widely. This article combines both IFS and genetic algorithm to simulate the morphology of plant. We make the "IFSP code" to be the set of genes in the genetic algorithm; the genes to do this selection, crossover and other genetic operations; set up a reasonable fitness function for evaluation of individual plants, reflecting the nature of species genetic and evolution. Finally, we simulate the fractal characteristics and more in line with the laws of nature plants.

**Key words:** fractal; ifs; genetic algorithm; plant simulation; fitness function

虚拟植物是将植物生长信息进行重构以便采用直观的可视化方式在计算机上对其进行模拟。<sup>[1]</sup>虚拟植物涉及生物学、计算机图形学、数学等多门学科, 虚拟植物的应用领域广泛, 在模拟植物形态结构方面, 分形几何学占着主要地位。分形利用自然景物本身存在的自相似性, 通过多种分形造型方法对自然实体进行建模。<sup>[2]</sup>迭代函数系统(iterated function system, 简称为 IFS)是分形图形生成的主要方法之一, IFS 的主要思想是基于几何对象的整体和局部部分在仿射变换下存在一定的自相似性。利用 IFS 模拟的植物图像纹理结构丰富, 但形态结构差异较小。而自然界中即使是同一种群的植物, 形态结构也是多样化的。因此, 本文将遗传算法引进到基于 IFS 的植物模拟中。遗传算法(Genetic Algorithms, GA)是一种借鉴生物界自然

选择和进化机制发展起来的高度并行、随机、自适应搜索算法。<sup>[3]</sup>在 IFS 生成植物图像过程中, 依据适应度函数的值, 对个体适当的进行选择、交叉、变异等遗传操作, 模拟自然界植物的进化过程, 得到符合自然规律的植物。

## 1 IFS基本原理

### 1.1 迭代函数系统

定义: 设函数  $d$  为度量集合  $X$  中任两点  $x$  和  $y$  距离的度量, 且所构成度量空间  $(X, d)$  是完备的。在该完备度量空间  $(X, d)$  上的某变换  $f: X \rightarrow X$  满足  $d(f(x), f(y)) \leq sd(x, y), x, y \in X$ , 则称该变换为压缩映射, 其中常数  $0 < s < 1$  为压缩因子。

定义: 变换  $W: R^2 \rightarrow R^2$  具有形式为

<sup>①</sup> 收稿时间:2011-05-03;收到修改稿时间:2011-05-31

$$W \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \cos \theta & -q \sin \varphi \\ r \sin \theta & q \cos \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e \\ f \end{bmatrix}$$

式中  $e, f, r, q$  为实数,  $\theta, \varphi$  为角度。 $r$  和  $q$  是子图相对于原图像在  $x$  方向和  $y$  方向的缩放系数;  $\theta$  和  $\varphi$  是子图相对于原图的旋转角度;  $e$  和  $f$  是子图在  $x$  方向和  $y$  方向的位移量。则称  $W$  为一个(二维)仿射变换。

定义: 一个迭代函数系统由一个完备的度量空间  $(X, d)$  和一组有限的压缩映射集  $W_n: X \rightarrow X$  及其相应的压缩因子  $s_n, n=1, 2, \dots, N$  所组成。今后 IFS 用  $\{X; W_n, n=1, 2, \dots, N\}$  表示且其压缩因子便是  $s = \max\{s_n, n=1, 2, \dots, N\}$ 。

## 1.2 基于 IFS 的植物模拟

在 IFS 中, 压缩映射  $W_n$  的出现概率  $0 < p_n < 1$ , 其中  $n=1, 2, \dots, N$  称为伴随概率, 满足完备性。所有压缩映射和对应的伴随概率确定了整个系统的迭代过程, 因此称集合  $\{(W_n, p_n), n=1, 2, \dots, N\}$  为迭代函数系统的 IFSP 码。以蕨菜叶子为例, 其 IFSP 码如表 1 所示<sup>[4]</sup>。

表 1 蕨菜叶子的 IFSP 码

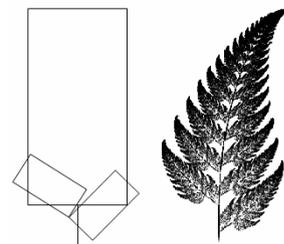
	a	b	c	d	e	f	p
$W_1$	0.0	0.0	0.0	0.16	0.0	0.0	0.01
$W_2$	0.85	0.04	-0.04	0.85	0.0	1.6	0.85
$W_3$	0.2	-0.26	0.23	0.22	0.0	1.6	0.07
$W_4$	-0.15	0.28	0.26	0.24	0.0	0.44	0.07

基于 IFS 的植物模拟方法是根据拼贴定理, 对要模拟的植物图像尽可能精确地用有限个该图像的压缩仿射变换子图去覆盖它, 并允许部分重叠。由此得到一个压缩仿射变换集:  $\{R^2; W_0, W_1, \dots, W_N\}$ 。各仿射变换子图的面积比例不同, 每个仿射变换依据其伴随概率被调用, 仿射变换子图的面积越大, 落入该图的点数就越多, 其对应的伴随概率也就越大。利用 IFSP 码绘图时, 可以从一个初始点  $(x_0, y_0)$  开始, 依照概率集随机选取某一个仿射变换, 计算出新的坐标点  $(x_1, y_1)$ , 并绘制该点, 再以该点为初始点, 重复上述过程, 反复迭代, 生成的点的轨迹最终形成一幅与原图近似的图形, 称之为 IFS 的吸引子。以蕨菜叶子为例, 其产生过程如图 1 所示<sup>[5]</sup>。

## 2 算法设计

John Holland 等人从试图解释自然界中生物的复杂适应过程入手, 模拟生物进化的机制来构造人工系

统的模型, 从而提出了遗传算法理论。遗传算法使用了群体搜索技术, 将种群代表一组问题解, 通过对当前种群施加选择、交叉和变异等一系列遗传操作, 从而产生新一代的种群, 并逐步使种群进化到包含近似最优解的状态<sup>[3]</sup>。本文将生成每棵植物的 IFSP 码看作是遗传算法中个体, 将同一类植物的 IFSP 码作为一个种群。将 IFS 和遗传算法相结合进行植物形态的模拟, 不再是传统的对单株植物的静态模拟, 而是以同一类植物种群作为模拟对象, 通过遗传操作实现其种群的进化, 符合自然界中生物的进化过程。最终, 得到更符合自然规律的植物个体, 正体现了达尔文进化论中的“适者生存”。



第 1 迭代 第 100000 次迭代

图 1 蕨菜叶子

### 2.1 算法流程

- ① 随机产生初始种群, 种群的规模提前设定, 个体即为 IFSP 码。
- ② 将种群中的每棵植物的 IFSP 码, 利用二维 IFS 绘图程序生成植物图像, 从而通过植物图像获取适应度函数所需参数, 进一步计算个体的适应度值。
- ③ 当种群中最优个体的适应度值接近或等于最优适应度值时, 判定终止; 否则转向④。
- ④ 依据个体的适应度值, 按照特定的选择方法对种群中个体进行选择, 最终达到适应度值高的个体被保留, 适应度值低个体的淘汰的效果。
- ⑤ 依照特定的概率对个体进行交叉、变异操作。
- ⑥ 通过遗传操作产生了新的个体, 从而更新种群。
- ⑦ 当迭代次数超过进化最大代数时, 判定终止; 否则返回②。

### 2.2 适应度函数

遗传算法中适应度函数用来评价个体优劣。在进化过程中, 适应度较高的个体被保留, 适应度较低的

个体被淘汰。本文适应度函数的设计参考了 Gabriela Ochoa 的研究,考虑了光合作用影响、聚光能力、结构稳定性、对称性等多种因素,这样也避免了遗传算法的欺骗性。而这些因素的信息很难直接从个体的基因上(即 IFSP 码)获得。本文的适应度函数的参数从个体所生成的二维植物图像上获取。本文设置了 4 个带权重的参数如下<sup>[6]</sup>:

正向光性(a):植物图像高度越高,a 的值越大,反之,越小。

聚光能力(b):植物图像中整体受光面积越大,b 的值越大,反之,越小。

结构稳定性(c):植物图像中枝条开始处的分支数目是可数的,假定枝化点的枝条数目较多是不稳定的。那么枝条数目较多的枝化点占得比例越大,c 的值越小,反之,越大。

左右对称性(d):植物图像中最左和最右两点距主枝的距离比值越接近 1,d 的值越大,反之,越小。

这四项的权重分别设为  $w_a, w_b, w_c, w_d$ , 对于不同的植物种类需要设置与其相对应的权重。适应度函数 (F)如下:

$$F = \frac{aw_a + bw_b + cw_c + dw_d}{w_a + w_b + w_c + w_d}$$

### 3 实例分析

由于本算法时间复杂度较高,设置初始种群规模为 10,算法执行的最大代数为 8。交叉的概率为 0.7,变异的概率为 0.08。由于实验的数据较多,本人只选取了部分实验结果,图 1 和图 2 分别显示了两种分形树的初始种群中的最优个体,第四代种群中的最优个体和最后一代种群最优个体(即本次实验植物的最优个体)。从图 1 和图 2 中我们可以看出,最后一代的最优个体具有比前几代的最优个体结构更加稳定,聚光能力更强等优点。这样就符合达尔文进化论中“物竞天择,适者生存”。

### 4 结语

本文提出了一种基于遗传算法的 IFS 植物形态模拟方法,将分形过程与自然界中的物种遗传、物种变异和物种进化建立联系。将每棵植物图像的 IFSP 码作为遗传算法中个体的基因;按照特定的概率对个体的基因进行交叉、变异等遗传操作,从而

得到新的个体,更新种群;利用适应度函数对种群中的个体进行评价;再依据特定的选择方法对种群中个体进行选择,达到适应度高的个体保留,而适应度低的个体保留的效果;经过多次进化,最终得到最优个体。从实验结果中可以看出,本方法不再是单纯的对单株植物形态的模拟,而是利用种群的进化得到更符合自然规律的个体。但是由于本算法的时间复杂度较高,种群规模较小等原因,部分实验结果并不理想,未达到预期效果。如何降低算法的时间复杂度,是需要进一步研究的问题。



初始种群最优 第四代最优 最后一代最优

图 2 分形树一的进化过程



初始种群最优 第四代最优 最后一代最优图

图 3 分形树二的进化过程

### 参考文献

- 1 唐卫东,刘昌鑫,郭晨,李萍萍,卢章平.基于数字化技术的虚拟植物生长过程研究.井冈山大学学报(自然科学版),2010,31(2):45-49.
- 2 李水根.分形.北京:高等教育出版社,2004.80-96.
- 3 王小平,曹立明.遗传算法-理论、应用与软件实现.西安:西安交通大学出版社,2002.1-16.
- 4 张文辉,周萍.IFS 系统在植物形态模拟中的应用.广西师范大学学报(自然科学版),2007,25(2):198-201.
- 5 李庆忠,韩金姝.基于 IFS 的树木形态模拟真实感的研究.微机发展,2005,15(7):86-92.
- 6 Ochoa G.On Genetic Algorithms and Lindenmayer Systems. Lecture Notes in Computer Science, 1998,335-344.
- 7 肖海蓉,任民宏,郭天印.基于 IFS 分形树的 VC++实现.软件设计开发,2008,2(15):1059-1060.