

6-5-2020

Realistic Simulation of Potted Monocot Plant Based on IFS

Fanxing Zhang

Northwest A&F University, College of Information Engineering, Yangling 712100, China;

Feiya Lu

Northwest A&F University, College of Information Engineering, Yangling 712100, China;

Meili Wang

Northwest A&F University, College of Information Engineering, Yangling 712100, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Realistic Simulation of Potted Monocot Plant Based on IFS

Abstract

Abstract: Potted monocot plants are one of the most indispensable plants for landscaping and environment. This paper establishes 3D geometric model of branches, twigs, branches and leaves of potted monocot plants with adjustable morphology parameters based on iterated function system. *Specifically, considering the self-similarity and randomness of branch bifurcation structure, a corresponding pruning operation module is established. The visualization of the pruning of the branch morphology with higher degrees of freedom is implemented through the affine transformation matrix and geometric model,* producing more realistic computer simulation results. This paper provides guidance for the study and market selection of potted plants.

Keywords

potted plant, iteration function system, self-similarity, pruning

Recommended Citation

Zhang Fanxing, Lu Feiya, Wang Meili. Realistic Simulation of Potted Monocot Plant Based on IFS[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(11): 2678-2684.

基于 IFS 的单子叶盆栽植物仿真研究

张凡星, 芦菲娅, 王美丽*

(西北农林科技大学信息工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 单子叶盆栽是植物造景和美化环境不可或缺的植物之一, 本文以单子叶盆栽为研究对象, 以函数迭代系统理论为基础, 建立了形态特征参数可调的单子叶盆栽的枝干、枝条、枝叶三维几何模型, 从而构建了盆栽几何模型; 同时考虑到枝条分叉结构的自相似性与随机性, 建立了剪枝操作模块, 通过仿射变换矩阵与几何模型之间的关系, 以较高的自由度完成了枝条形态修剪可视化, 得到较为逼真的计算机模拟结果, 可为盆栽植物造型研究、市场选购提供一定的指导作用。

关键词: 盆栽; 迭代函数系统; 自相似性; 剪枝

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2017) 11-2678-07

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201711012

Realistic Simulation of Potted Monocot Plant Based on IFS

Zhang Fanxing, Lu Feiya, Wang Meili

(Northwest A&F University, College of Information Engineering, Yangling 712100, China)

Abstract: Potted monocot plants are one of the most indispensable plants for landscaping and environment. This paper establishes 3D geometric model of branches, twigs, branches and leaves of potted monocot plants with adjustable morphology parameters based on iterated function system. Specifically, considering the self-similarity and randomness of branch bifurcation structure, a corresponding pruning operation module is established. The visualization of the pruning of the branch morphology with higher degrees of freedom is implemented through the affine transformation matrix and geometric model, producing more realistic computer simulation results. This paper provides guidance for the study and market selection of potted plants.

Keywords: potted plant; iteration function system; self-similarity; pruning

引言

在自然界中, 广泛存在自相似性的物质形态, 如弯曲的海岸线, 漂浮的云朵, 植物枝干的分叉等等, 对这些极不规则、复杂多变的曲线形状, 使用传统的欧式几何是较难且不适合描述的。而分形理

论作为一种最适合描述具有自相似性事物的工具, 跳出了传统立体几何的维度观念, 对复杂系统的真实属性与状态做出更加趋近的描述。

近些年, 在植物分形方面已有较多研究, 叶小玲等^[1]提出一种结合 IFS(Iteration Function System) 和布告栏的方法并仿真出三维树。蒋艳娜等^[2]从分形及 L 系统方法出发, 对植物建模技术进行了综述。董春胜等^[3]通过控制 IFS 码的参数来模拟树木树枝受到风力影响时的形态。这些方法模拟出的分形树都比较逼真, 真实感强, 但这些方法大多基于大型植物设计仿真, 对于小型植物, 如盆栽花卉



收稿日期: 2017-08-20 修回日期: 2017-09-15;
基金项目: 国家自然科学基金(61402374);
作者简介: 张凡星(1995-), 男, 陕西咸阳, 本科生, 研究方向为计算机图形图像处理; 芦菲娅(1996-), 女, 陕西西安, 本科生, 研究方向为计算机图形图像处理; 王美丽(通讯作者 1982-), 女, 陕西渭南, 博士, 副教授, 研究方向为计算机图形图像处理。

<http://www.china-simulation.com>

• 2678 •

等方面的研究少见报道。而盆栽作为中国传统园林艺术的一种, 能够模仿自然山水景观, 具有美化环境与改善生态的作用, 在中国有着十分广阔的市场。每年全国各省市地区都有规模不一的花卉博览会数十场, 盆栽都是其中不可缺少的主要参展植物之一, 但绝大多数的盆栽系都是以实物的形式进行展示, 其形态造型未免单一, 不能满足所有人的需求喜好。基于此现状, 本文以盆栽流派中的单子叶类花草盆景为研究对象, 在利用 IFS 的基础上, 构建了基于盆栽形态特征参数的几何模型, 并通过仿射变换矩阵与几何模型之间的关系, 完成枝叶修剪工作的可视化, 以为盆栽植物造型研究提供一定的借鉴作用, 同时为市场选购提供一定的指导。

1 IFS 迭代函数系统

IFS 是植物分形学最为常用的思想之一, 起源于计算机图形学、仿射几何学与分形理论的结合。主要包括度量空间, 压缩映射, 不变紧缩集的存在性以及测度理论等^[4]。其算法规则主要包括两方面的内容: 获取 IFS 码过程中的拼贴规则和由 IFS 显示集合对象的计算机算法(随机迭代算法与确定性算法)^[5]。

IFS 以仿射变换为基础, 按照自相似性在整体与局部的衍生关系, 通过迭代确定参数。实际应用过程中, 只需给出第一次仿射变换的参数, 然后利用迭代思想, 确定整个迭代函数系统剩余的各项变换参数。以二维仿射变换为例, 在二维欧氏空间中, 定义一个二维仿射变换 $W: R^2 \rightarrow R^2$, 其矩阵形式为:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = W \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中: a, b, c, d, e, f 均为变换因子, 当其为实数系数时, 则可确定一个二维仿射变换。可以将 W 看作一个基本几何变换的组合形式, 其可以分解为缩放, 旋转, 平移等变换, 即式(1)也可以写成以下形式:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r \cos \theta & -q \sin \theta \\ r \sin \theta & q \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} m \\ n \end{pmatrix} \quad (2)$$

其中: m 与 n 分别是在 x 与 y 轴上的平移分量, r 与 q 分别是 x 与 y 方向的比例缩放倍数, θ 与 α 分别是绕 x 与 y 轴逆时针旋转的角度^[5-7]。

2 盆栽的三维建模

花草类盆栽系中多为单子叶类植物, 其枝叶分叉结构具有典型的自相似性。故从 IFS 分形理论的角度, 本文将盆栽中的一枝花草, 分为枝条与枝叶两个部分, 并定义一个基本的植物建模单元——枝元, 由左枝干, 右枝干, 左枝叶与右枝叶四个部分构成, 如图 1 所示。



图 1 枝元模型
Fig. 1 Twig Model

2.1 枝干建模

通过权衡计算机的运算效率与盆栽可视化质量, 本文选择以八边形(LOD(Level Of Detail)=0)作为枝干的立体剖面(同时 LOD=1 为四边形, LOD=2 为三角形)。根据仿射变换, 平面新位置的计算方法如下:

$$\text{Vec4 newPos} = \text{Mat}_{\text{Model}} \times \text{oldPos} \quad (3)$$

其中: Vec4 表示带齐次坐标的四维矢量; newPos 表示构成平面的点的新坐标矢量; oldPos 表示这一点的原坐标矢量; $\text{Mat}_{\text{Model}}$ 表示 model 的平面变换四维矩阵, 该矩阵是一系列的仿射变换矩阵相乘得来的结果, 包括缩放变换, 位移变换等。

以下为枝干的具体设计步骤:

(1) 初始化两个在相同位置的单位八边形平面, 如图 2(a)所示。

(2) 分别计算上下两个平面各自的位置变换矩阵, 即经过一系列缩小, 移动, 旋转等运算得到

的矩阵。将其与各自平面的八个点的坐标参数矩阵相乘, 得到新的坐标, 如图 2(b)所示。

(3) 将两个平面中相对应的各点相连, 即得到单个枝干的建模, 如图 2(c)所示。

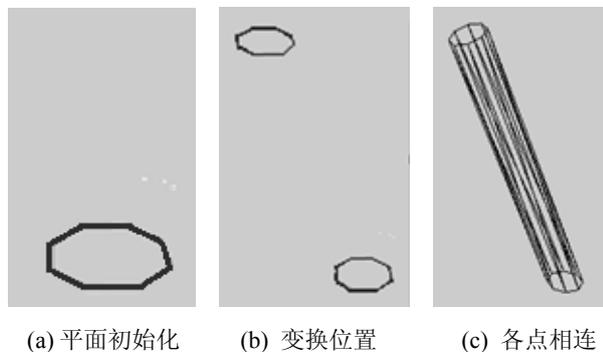


图 2 枝干建模过程
Fig. 2 Branch Modeling Process

2.2 枝叶建模

枝叶有着复杂的、特殊的曲面造型, 它是花草类盆栽植物的重要组成部分之一。枝叶的建模常用的方法有两种: 在一张网格化的矩形平面上映射纹理^[8-9]和提取枝叶轮廓并采用三角化剖分法得到枝叶模型^[10]。本文采用改进的第一种方法, 将枝叶的曲面弯曲看作是沿叶脉主轴方向的纵向弯曲和与主轴方向垂直的横向弯曲的组合。为实时快速地建立枝叶模型, 本文忽略枝叶轮廓的多样性, 使用纹理映射技术, 将枝叶的有效纹理映射到一张透明的矩形平面上, 得到初始枝元。

首先构件一张网格化的矩形平面元, 作为枝叶曲面造型的载体, 如图 3(a)所示。接着对网格平面元做相应参数的横向弯曲与纵向弯曲计算, 如图 3(b)与图 3(c), 将两种弯曲的计算结果叠加, 如图 3(d), 最后经纹理映射得到一个处理完成的枝叶模型, 如图 3(e)。

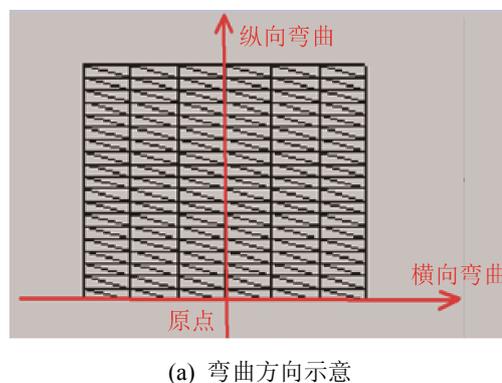
其建立流程图如图 4 下:

初始化数据时, 网格中所有点的 x 与 y 坐标均初始化为 0, 从原点左边的第一列($n=1$)开始, 将横向弯曲矩阵作为迭代参数, 迭代计算每一列的 x 坐标。计算完成后, 将纵向弯曲矩阵作为迭代参数,

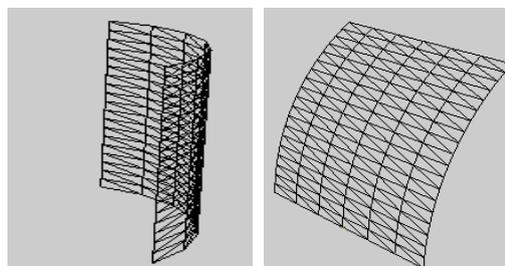
计算每一行的 y 坐标。

2.3 枝条建模

枝条的分枝结构从植物学的角度大致可归结为三大类, 单轴分枝, 合轴分枝和假二叉分枝。无论是哪一种分枝结构, 从分形的角度来看, 都具有典型的自相似性。每一枝具有特殊姿态的枝条都可以看作是由数个枝元组合而成。在枝元的组合中, 每一个枝元中枝干上下平面的变换矩阵除了最基本的缩放与位移矩阵外, 还需要计算两个主要的旋转矩阵, 即绕 x 轴的弯曲旋转矩阵与绕 y 轴的扭转旋转矩阵, 旋转方向如图 5 所示。

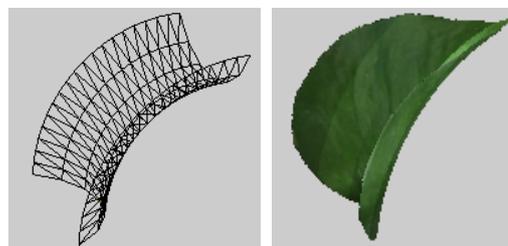


(a) 弯曲方向示意



(b) 横向弯曲

(c) 纵向弯曲



(d) 二者叠加

(e) 纹理映射

图 3 枝叶变形过程

Fig. 3 Leaves Deformation Process

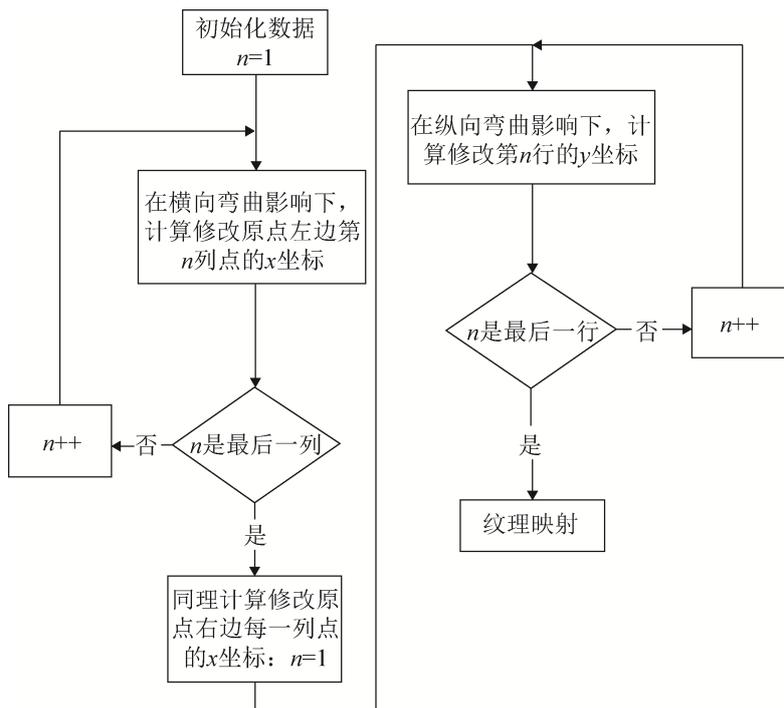


图 4 枝叶建模流程图

Fig.4 Flow chart of foliage modeling

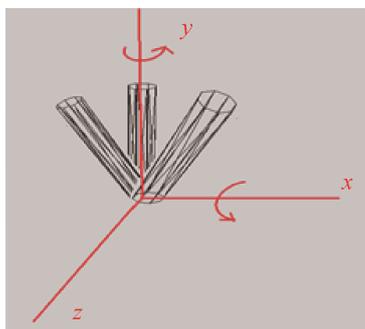


图 5 旋转方向

Fig.5 Rotation direction

枝条的分叉结构建模过程:

首先建立一个没有分叉的枝元作为主要枝干; 其次在这个枝元上建立含有特征参数的具有两个分支的枝元; 然后迭代上一步操作至要求迭代次数。公式(4)是迭代过程中不断更新的枝干平面变换矩阵 Model:

$$\text{Mat}_{\text{Model}} = \text{Mat}_{\text{Twist}} \times \text{Mat}_{\text{Bend}} * \text{Mat}_{\text{Translate}} \times \text{Mat}_{\text{Scale}} \quad (4)$$

Twist 表示绕 y 轴扭转的角度, Bend 表示绕 x 轴弯曲的角度, 这样就得到具有特征参数的枝条几何模型。

2.4 枝条修剪

枝条初始化分形完成之后, 分叉过多, 易与实物差距较大, 故需要对其进行剪枝。这主要体现在改变每一个枝元的右枝干, 包括右枝干长度、半径等参数。完整的缩放过程用公式(5)表示:

$$\begin{cases} \text{Mat}_{\text{Translate}} = \text{Mat}_{\text{rScale}} * \text{Mat}_{\text{Translate}} \\ \text{Mat}_{\text{Scale}} = \text{Mat}_{\text{rScale}} * \text{Mat}_{\text{Scale}}, IF_{\text{cur}} < IF_{\text{Dep}} * IF_{\text{end}} \\ \text{Mat}_{\text{Model}} = \text{Mat}_{\text{Model}} * \begin{pmatrix} 0000 \\ 0000 \\ 0000 \\ 0001 \end{pmatrix}, IF_{\text{cur}} < IF_{\text{Dep}} * IF_{\text{end}} \end{cases} \quad (5)$$

其中: $\text{Mat}_{\text{rScale}}$ 是右枝干的缩放参数矩阵, 分别与向下迭代的平面变换矩阵中的 $\text{Mat}_{\text{Translate}}$ 与 $\text{Mat}_{\text{Scale}}$ 矩阵左乘, 达到缩放的目的。 IF_{cur} 是当前迭代次数, IF_{end} 是总迭代次数, 关于枝元的剪枝操作, 本文定义了一个值为(0.0f~1.0f)的浮点型参数 IF_{Dep} , 将 IF_{cur} 与 $IF_{\text{Dep}} * IF_{\text{end}}$ 的结果比较, 如果前者小则对枝元的右枝干进行缩微操作, 否则直接与零矩阵相乘, 削减整段枝元。图 6 给出了枝条的部分修剪过程。

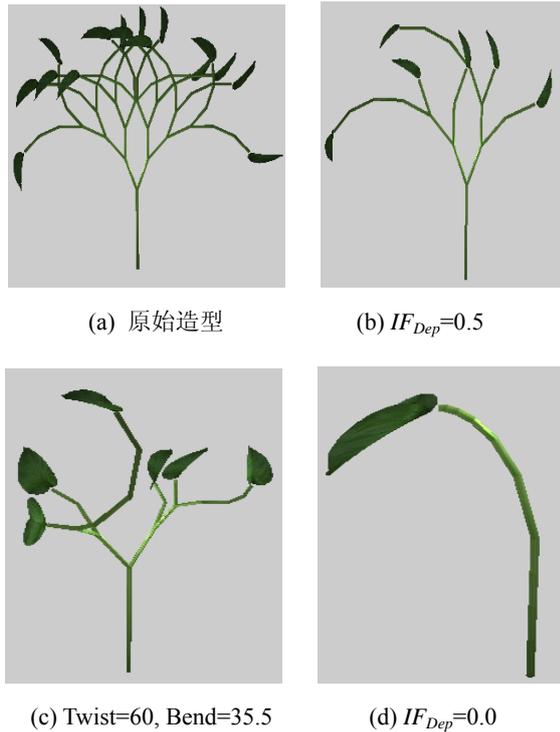


图 6 枝条造型
Fig.6 Branch Model



(a) 剪枝造型 1



(b) 剪枝造型 2



(c) 剪枝造型 3

图 7 绿萝剪枝造型
Fig.7 Scindapsus Pruning Model

3 实验结果

一株单子叶类的花草系盆栽, 可以看作是具有一定特征参数的枝条的一个平面圆内按高斯随机规律分布而成的几何模型。为了验证本文所描述的方法, 将其应用到绿萝、吊兰、虎皮兰等不同类单子叶植物中。

图 7(a)给出了绿萝剪枝造型 1, 由 108 枝不同参数的枝条组成, 这些参数包含上述提到过的枝条的 $Bend$, $Twist$, IF_{Dep} 等参数。用一定范围内的随机值对每一枝条的第一个枝元的各参数进行赋值, 即确定 IFS 码, 其余枝元的参数由迭代自动计算生成。同时, 使用线性表作为 108 根枝条的存储结构, 方便对枝条进行遍历操作, 及在交互操作时对所有枝条做出细微参数调整。图 7(b)所示的剪枝造型 2 是在造型 1 的基础上, 拉长在整个枝条分布区域圆内所占 150 度内的所有枝条的长度, 并修改 $Bend$, $Twist$ 等参数。图 7(c)是在图 7(b)基础上, 扩大修改范围, 修改更多的枝条。

针对百合科单子叶类典型植物——吊兰, 我们使用枝元中的枝叶结构即可模拟, 即令枝干迭代总次数为 0, 抛弃枝干结构, 仅保留枝叶, 如图 8 所示。

在此基础上, 可以很方便的继续开发一些单子叶类兰的其他经典品种, 如君子兰和虎皮兰, 如图 9 所示。



(a) 剪枝造型 1



(b) 剪枝造型 2

图 8 吊兰剪枝造型

Fig.8 Chlorophytum Pruning Model



(a) 君子兰

(b) 虎皮兰

图 9 其他单子叶兰

Fig.9 Others monocots of Orchid

在以上实验结果的基础上, 本文设计并开发了一套用户界面, 如图 10 所示, 使用户可以实时对盆栽进行剪枝操作, 并对部分参数进行调整, 包括枝条的弯曲, 扭转等形态参数, 满足用户的需求。



图 10 室内盆栽造型与交互系统

Fig.10 Modeling and Interactive System of Indoor Potted Plant

4 结论

计算机仿真作为一种计算机高新技术, 不仅在园艺展示, 在农业生产, 植物学研究上都有着十分广泛的应用。本文基于 IFS 函数迭代系统思想, 实现了单子叶类的花草系盆栽的三维仿真, 较真实地模拟出了绿萝, 吊兰等单子叶类盆栽的造型姿态。下一步工作会考虑盆栽场景在室内的布局操作, 用户可以进一步的按照室内环境, 对盆栽造型进行调整。

参考文献:

- [1] 叶小岭, 肖云, 王伟亮. 三维分形树的虚拟仿真研究[J]. 南京信息工程大学学报(自然科学版), 2013, 5(3): 257-261.
Ye Xiaoling, Xiao Yun, Wang Weiliang. Virtual simulation of 3D fractal tree[J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology(Natural Science Edition), 2013, 5(3): 257-261.
- [2] 蒋艳娜, 肖伯祥, 郭新宇, 等. 植物建模与动画合成研究[J]. 系统仿真学报, 2015, 27(4): 881-892.
Jiang Yanna, Xiao Boxiang, Guo Xinyu, et al. Research on plant simulation and animation synthesis[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(4): 881-892.
- [3] 董春胜, 荣霞. 三维迭代函数系统植物模拟[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2014, 33(5): 712-715.
Dong Chunsheng, Rong Xia. Plant simulation three dimension iterated function system[J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition), 2014, 33(5): 712-715.

(下转第 2692 页)

<http://www.china-simulation.com>

• 2683 •