

基于参数 L 系统的小叶榕树建模方法研究

高 扬,黎展荣,魏 为,刘 峰

(广西大学 计算机与电子信息学院,广西 南宁 530004)

摘 要:为建立具有较强真实感的观赏性树木模型,以南方小叶榕树为建模研究对象,结合参数 L 系统,提出了根据特征差异性进行分步建模的方法。首先从整体的角度对小叶榕树的形态特征进行分析,之后把树木不同部位的特征参数化,结合参数 L 系统建立具有二级映射关系的产生式规则,以此构建具有良好交互性的小叶榕树枝干模型。在最后绘制模型时,为减少模型的数据量以及保证绘制的高效率,使用改进的矩形面片拼接的方法来实现这些要求,借助 OpenGL 图形库绘制出整棵榕树的模型。实验结果表明:绘制出的模型数据量小,具有较强的真实感以及良好的交互性。

关键词:小叶榕树;参数 L 系统;分步建模;交互性;OpenGL

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2016)07-0156-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.07.033

Research on Modeling Method of Ficus Microcarpa Based on Parametric L System

GAO Yang, LI Zhan-rong, WEI Wei, LIU Feng

(School of Computer and Electronic Information, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: To build the ornamental tree model with a strong sense of reality, taking the ficus microcarpa tree as the modeling object, combined with parametric L-system, a method about multi-step modeling based on characteristic difference is proposed. First the morphological characteristics of ficus microcarpa tree is analyzed from whole angle, then the characteristics of different parts is converted into parameters, to build generative rules with two levels of mapping relations on the basis of L-system, and the branch model of tree is established with better interactivity. In the part of rendering model, in order to reduce the model data and guarantee the high efficiency of rendering, an improved method of mosaicing rectangular planes is used to meet the requirements. Finally, the whole model is rendered by using OpenGL graphics library. Experiment shows that the ficus microcarpa model has a small amount of data, a strong sense of reality and good interaction.

Key words: ficus microcarpa; parametric L-system; multi-step modeling; interaction; OpenGL

0 引 言

对现实场景进行虚拟化时,树木模型一直都是不可或缺的元素。在植物建模领域,L 系统对植物的分支结构具有良好的模拟效果,已成为构建植物模型普遍采用的方法^[1]。许多学者以此为基础,对多种特定树木模型及可视化进行了相关研究,成为树木建模的一个重要组成部分。

在当前特定树木模型研究领域,更多的是针对农业作物的模型研究,而对观赏性植物的建模研究却不多,后者更多地要求在整体形态方面具有良好的逼真度,且具有较好的交互性。虽然农业作物的建模研究

多集中在植物的局部细节,但对于观赏性植物的建模研究也有一定的借鉴意义。文献[2-5]在 L 系统的基础上,分别对四种作物的不同部位进行了建模,但对植物的整体形态缺少模型化描述,模型的可交互性也显得不足,这些在观赏性植物的建模方面仍需要做进一步研究。

小叶榕树是一种典型的南方树种,作为观赏性植物具有很强的代表性,被广泛应用于市政绿化、园艺设计等领域。文中以小叶榕树为建模研究对象,从树木的整体形态出发对各个部分进行形态分析,汲取对农业植物局部建模的优点,结合参数 L 系统来构建小叶

收稿日期:2015-10-13

修回日期:2016-01-19

网络出版时间:2016-05-25

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(61401108)

作者简介:高 扬(1990-),男,硕士研究生,研究方向为计算机图形学;黎展荣,副教授,硕士研究生导师,通信作者,研究方向为计算机图形学。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160525.1711.074.html>

榕树的模型,使其具有良好的交互性,从而为园艺设计起到一定的指导作用,也为南方城市场景的虚拟化提供具有较强真实感的树木模型。

1 参数L系统与空间几何解释

1.1 参数L系统

美国生物学家 Lindenmayer 于 1968 年首次提出了一种字符串迭代重写机制,这种机制便称之为 L 系统^[6]。L 系统可以用来模拟植物的分支结构,但在面对树木这类具有复杂分支结构的植物时,模拟能力还是相当有限。为此,Lindenmayer 和 Hanan^[7-8]提出在 L 系统中引入参数的方法,构建了参数 L 系统。它在原先 L 系统的基础上新增了一个形式参数集合,从而被定义为一个有序四元组:

$$G = \langle V, \Sigma, \omega, P \rangle$$

其中, V 表示字母表; Σ 表示形式参数集; ω 表示起始字符串; P 表示产生式,由前驱和后继组成。

产生式的替换规则应当满足的条件有:模块中的字母和产生式前驱中的字母相同;模块中实际参数的数目要和产生式前驱中的形式参数数目相同;如果条件值为真,则使用产生式中的形式参数置换实际参数^[9]。若满足条件,则用产生式的后继替换现有模块,否则对现有模块进行自身恒等替换。下列字符串组合演示了参数 L 系统的替换过程:

$$\begin{aligned} \omega &: X(1) Y(3, 2) \\ P_1 &: Y(a, b) : b \leq 3 \rightarrow Y(a * 2, a + b) \\ P_2 &: Y(a, b) : b > 3 \rightarrow X(a) Y(a/b, 0) \\ P_3 &: X(a) : a < 1 \rightarrow D \\ P_4 &: X(a) : a \geq 1 \rightarrow X(a - 1) \end{aligned}$$

迭代 1 次: $S_1: X(0) Y(6, 5)$
迭代 2 次: $S_2: X(2) X(6) Y(1.2, 0)$

1.2 空间几何解释

在平面内,L 系统采用的是二维海龟解释模型,根据 Abelson 和 diSessa^[10]的思想,可以将 L 系统的龟形解释模型扩展到三维空间。在图 1(a)中,使用 $[L, U, H]$ 三个相互垂直的单位向量来确定海龟的当前位置,在这三个方向上构成 3×3 的旋转矩阵^[11]并根据旋转的角度实现控制海龟的朝向。

上述海龟几何解释模型是 L 系统使用的传统解释方法。如图 1(b)所示,通过对树木枝干的生长角度分析,可知枝干生成的角度和位置只在 θ 和 Φ 两个维度进行变化^[12]。相对于传统龟形几何解释,文中只使用在 Z 和 A 方向上的几何解释以实现小叶榕树的枝干模型,并在表 1 中给出了几何字符解释。

表 1 几何字符解释

符号	解释
$+(\beta)$	在 Z 轴方向上旋转 β 度
$\&(\theta)$	在 A 轴方向上旋转 θ 度
$F(d)$	向前移动 d 个单位距离
$\$ (r)$	设置树干的半径为 r

2 构建小叶榕树模型

2.1 小叶榕树的形态分析

通过对小叶榕树的形态进行分析,从而实现对小叶榕树枝干及树叶的特征提取。把提取到的特征数据化,将其作为参数引入到参数 L 系统,为产生式的提出提供依据。结合现实中小叶榕树的分枝形态以及文献^[13]对小叶榕树的特征描述,可将小叶榕树的形态特征总结为以下 3 个部分:

(1) 榕树基部主干。

作为支撑整棵树木重量的部分,相较于侧枝,它具有短而粗的特点。随着树龄的增长,主干直径逐渐增加,一般主干直径多在 20 ~ 50 cm 之间,高度在 1.5 ~ 2 m 之间。

(2) 榕树侧生主干。

侧生主干是构成榕树冠盖的主体组成部分,根据其生长在主干上的不同位置,又可将其归纳为两类:

一类是生长在主干较低的位置,沿着近似平行于地面的角度横向生长,角度在 $70^\circ \sim 90^\circ$ 之间,长度在 5 ~ 7 m 之间,之后在末端逐渐形成向上生长的分枝。

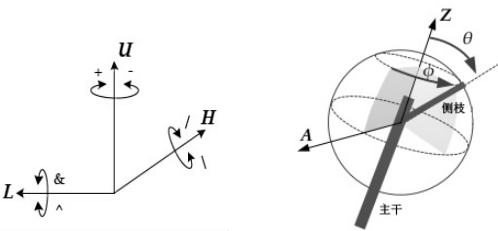
另一类则是生长在主干较高的位置,沿着与主干 $20^\circ \sim 40^\circ$ 的夹角向上生长,在末端形成更多细小的分枝。

(3) 榕树末枝与树叶。

末枝是侧生主干的最后衍生部分,围绕着侧生主干的末端朝着不同的方向生长,与主枝干形成 $20^\circ \sim 60^\circ$ 的夹角。最后树叶从末枝长出,呈椭圆状,边缘光滑无锯齿。不同位置的树叶差异性较小,颜色由深绿向浅绿色过渡。

2.2 榕树模型的产生式规则

通过以上对小叶榕树形态的分析,主干与侧生主干有较大的差异性,故相较于侧枝的建模,主干的建模较为简单,其关键在于如何控制侧枝主干的生成位置。



(a) 传统几何解释 (b) 球形几何解释

图 1 空间几何解释

文中给出了在有限范围内产生随机变量的方法来控制侧枝的出现位置,并对出现的位置进行标记,用来实现和侧枝模型的对接。其产生式规则如下:

$$\Theta: B(d,r) \ D(d,r)D(d,r)D(d,r)D(d,r)[A]$$
$$P_1: B(d,r) \rightarrow F(d) \$ (r * 0.85) F(d) \$ (r * 0.85) F(d) \$ (r * 0.85)$$
$$P_2: D(d,r) \rightarrow F(d * 0.57) \$ (r * 0.95) [A]$$
$$A: \{A | < \Sigma, \Phi, \Omega, \delta, \eta > \}$$

其中,[]用来表示分枝在字符串中出现的位置; A 是一个有序的特殊字符集。

文中只对主干的起始字符串迭代一次,则最终字符串将会包含 5 个 A 字符,这 5 个字符将由 A 字符集中的 5 个字符依次替换,用来标记侧枝在主干中出现的层级。另外 A 中每个特殊字符被赋予整数值,用来表示在某一层级出现分枝的个数,用户可以修改这些整数值,用来构建不同的分枝形态,从而为榕树的侧生主干建模奠定基础。

由于侧生主干具有多种不同特征,将这些特征参数化后会产生大量数据,从而导致参数 L 系统的产生式规则产生大量冗余。为了简化字符串的迭代步骤,文中通过建立产生式规则映射表的方法来压缩产生式的规模。如表 2 所示,在产生式映射表中,每个字母对应带有参数的产生式,用以描述榕树侧生主干的局部特征,从而形成一级产生式。之后,在一级产生式的基础上建立了二级产生式 $P_1 - P_4$,最终建立的侧枝主干的模型只需根据起始字符串使用二级产生式迭代即可得到最终字符串。

表 2 产生式规则映射表

字符	产生式规则
<i>a</i>	$\&(-3 * \theta) F(d * 0.5) \$ (r * 0.9)$
<i>e</i>	$F(d) \$ (r * 0.9)$
<i>g</i>	$+ (-70 * \beta) \&(40 * \theta) F(d * 1.75) \$ (r * 0.8)$
<i>h</i>	$+ (-10 * \beta) \&(-30 * \theta) F(d * 1.25) \$ (r * 0.8)$
<i>i</i>	$+ (-50 * \beta) \&(30 * \theta) F(d) \$ (r * 0.75)$
<i>j</i>	$+ (-100 * \beta) \&(-15 * \theta) F(d) \$ (r * 0.8)$
<i>k</i>	$+ (-40 * \beta) \&(-30 * \theta) F(d * 1.25) \$ (r * 0.8) + (40 * \beta) \&(0)$
<i>l</i>	$+ (-50 * \beta) \&(30 * \theta) F(d * 1.75) \$ (r * 0.8)$
<i>z</i>	$+ (R_1 * \beta) \&(R_2 * \theta) F(d) \$ (r * 0.8)$
P_1	$H(d,r) \rightarrow g[k \ e[h]e[heN(d,r)]iN(d,r)$
P_2	$K(d,r) \rightarrow jeee[k[M(d,r)]H(d,r)]lM(d,r)$
P_3	$N(d,r) \rightarrow [iM(d,r)]e[kM(d,r)]e$
P_4	$M(d,r) \rightarrow [i]e[k]e$

表 2 中 *z* 对应的产生式中, R_1 是取(0,180)之间的无重复随机数, R_2 是取(15,90)之间的随机数,二者共同确定了侧枝主干在主干中的出现位置。文中给出了 7 个分枝的起始字符串,用来替换主干产生式 A 序列中的特殊字符。用户可以定义每层产生分枝的个

数,但总的侧枝主干数不超过 7 个。文中给出的 7 个分枝字符串如下:

- ① $zaae [H(d,r)][K(d,r)]$
- ② $zaea [H(d,r)] aaa [K(d,r)] aae$
- ③ $zeaa [K(d,r)] N(d,r) [H(d,r)] eee$
- ④ $zaaa [K(d,r)][H(d,r)] eN(d,r)$
- ⑤ $ze [H(d,r)][K(d,r)] eN(d,r)$
- ⑥ $zaa [heN(d,r)] a [H(d,r)] aee$
- ⑦ $ze [kN(d,r)] e [iN(d,r)] e [k] eeM(d,r)$

把主干与侧枝分开建模,结合二级产生式规则,实现了对小叶榕树的模块化建模。用户可以修改模型的参数,替换产生式映射表的内容,使整个系统具有良好的交互性,从而为建立不同形态的小叶榕树模型提供了可能。

3 小叶榕树模型的绘制

3.1 绘制枝干模型

绘制速度快、占用系统资源少是绘制树木模型的优点,另外作为虚拟化城市场景的一部分,树木模型的数据量应当尽可能小,以保证场景浏览的流畅度。那么对于绘制小叶榕树的模型,也应当满足以上要求。

在文献[14]中,孔令麒等使用多个矩形面片拼接的方法绘制圆柱来模拟枝干的变化,这样可以起到减少模型数据量的效果,然而使用该方法会出现两个圆柱连接处的面片坐标被重复计算的问题,从而导致过多内存资源被占用。

文中以建立连接处顶点坐标索引的方法来解决该问题,从而提高系统资源的使用效率,最终实现绘制速度快、数据量小的小叶榕树模型。

如图 2 所示,每个字母分别代表矩形面片的顶点坐标, *e* 和 *d* 的坐标相同, *f* 和 *c* 的坐标相同,而原来的方法要对相同的坐标计算两次。绘制矩形是按照逆时针的顺序排列坐标,如 *abcd*、*efgh*,那么将 *c* 和 *d* 在序列中的位置 3,4 记录在索引表中,在需要 *e*、*f* 的坐标时只查找索引表找到 *c*、*d* 的坐标就可重复使用,从而避免了相同坐标的重复计算。文中采用这种改进的绘制圆柱体的方法来模拟小叶榕树的枝干,从而大大提高了小叶榕模型的绘制效率。

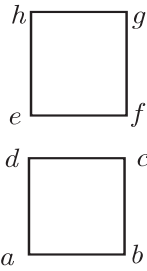


图 2 拼接矩形面片

3.2 绘制树叶模型

绘制小叶榕树的树叶由两个要素决定:一是确定树叶在末枝的长出位置;二是对树叶本身的坐标计算以及着色。

确定树叶的长出位置由末枝条的半径大小来确定。如果枝条半径小于设定的阈值,则使用特定序列内的随机数来确定树叶在垂直于末枝的水平面中出现的角度以及和末枝的夹角。依据小叶榕树叶生长的特征,文中使用的特定序列是 $\{60, 50, 40, 30\}$,纵向夹角在 $20^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 之间。以上方法可以快速地确定叶片的长出位置。

在确定了树叶的长出位置后,就需要计算叶片的坐标。叶片本身是一种不规则的几何体,如果使用三角面片拼接的方法,不仅会增加模型的数据量,还会降低树叶的仿真度。故文中使用矩形面片结合叶片贴图的方法来模拟榕树树叶,这样可以较好地保证树叶的仿真度。

在树叶的绘制阶段,通过对三种不同反射光线的计算得到材质的属性,之后将贴图的每个像素点与矩形坐标相对应,位于叶片之外的像素忽略不计。

使用该方法可以有效减少叶片坐标的数量,从而减少对系统资源的消耗并提高绘制速度。

4 建立模型的实验结果

实验硬件环境为 Intel i7-4790、NVIDIA GeForce GTX 970。软件环境为 Qt、Visual Studio 2013、OpenGL 着色语言—GLSL。

图3左侧为真实的小叶榕树图片,右侧则是根据小叶榕树的枝干数据构建的枝干模型。图4为小叶榕树模型添加树叶后两种不同形态的效果图。



图3 真实小叶榕树的枝干模型

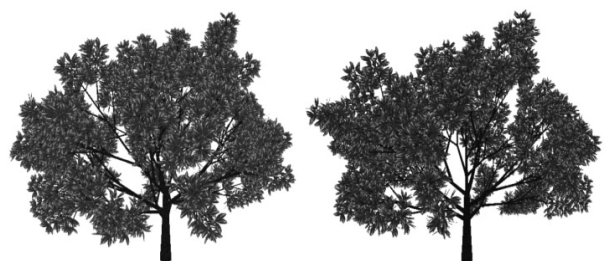


图4 添加树叶后的小叶榕树模型

5 结束语

相对于特定树木的局部建模,文中能够从整体的角度出发对小叶榕树分步建模,在参数 L 系统的基础上,优化了模型字符串的替换方式,使得建立的模型具有良好的可替换性与交互性。对原有的模型绘制方式进行改进,使得绘制出的小叶榕树模型数据量小且拥有较强的真实感,从而为南方城市的场景虚拟化提供合适的模型,另外对观赏性树木的建模有一定的借鉴意义。由于文中对树叶建模使用了贴图,使得树叶模型的特异性降低。那么如何增强树叶模型的特异性将是以后的研究方向。

参考文献:

- [1] 谭云兰,贾金原,张 晨,等. 3D 树木建模技术研究进展[J]. 中国图象图形学报,2013,18(11):1520-1528.
- [2] 廖桂平,李锦卫,欧中斌,等. 基于参数 L-系统的油菜花朵与花序生长可视化研究[J]. 农业工程学报,2009,25(4):150-156.
- [3] 刘 阁,周国民,胡 林. 基于 L 系统的开心形苹果树枝干模型[J]. 安徽农业科学,2009,37(16):7795-7796.
- [4] 胡秀珍,张 建,李 森,等. 基于参数 L 系统的梨树枝干模型三维可视化[J]. 计算机系统应用,2011,20(8):86-90.
- [5] 辛龙娇,徐立鸿,李大威,等. 基于参数 L-系统的温室番茄植株的三维重建[J]. 现代农业科技,2014(3):340-343.
- [6] Lindenmayer. Mathematical models for cellular interaction in development[J]. Journal of Theoretical Biology,1968,18:230-315.
- [7] Prusinkiewicz A L P, Lindenmayer A, Hanan J S, et al. 植物的算法美[M]. 孟 军,邓华玲,傅丽芳,等,译. 北京:科学出版社,1990:5-15.
- [8] Lindenmayer A. Adding continuous components to L-systems[J]. L Systems,1974,15:53-68.
- [9] 石银涛,程效军,张鸿飞. 基于参数 L-系统的三维树木仿真[J]. 同济大学学报:自然科学版,2011,39(12):1871-1876.
- [10] Abelson H. diSessa A. Turtle geometry[M]. Cambridge: MIT Press,1982.
- [11] Foley J D, van Dam A. Fundamentals of interactive computer graphics[M]. Massachusetts: Addison-Wesley,1982.
- [12] Qi Hang, Qiu Ruichao, Jia Jinyuan. L-system based interactive and lightweight web3D tree modeling[C]//Proceedings of the 10th conference on virtual reality continuum and its application in industry. New York: ACM,2011:589-592.
- [13] 杨江南,孙川红. 小叶榕的改造与管护[J]. 四川农业科技,2010(1):39-39.
- [14] 孔令麒,黎展荣,韦 婷,等. 基于 L 系统的树木建模与仿真[J]. 科学技术与工程,2013,13(32):9536-9540.