

基于重瓣花朵拓扑结构模型算法的可视化研究

淮永建 周文婷

(北京林业大学信息学院 北京 100083)

摘 要 针对重瓣花朵结构较为复杂、花瓣排列方式非线性较强、三维模拟效果较差的问题,提出了一种重瓣花朵拓扑结构模型算法。以牡丹作为实例,根据植物学中花瓣排列方式理论,加入随机扰动函数,通过扩展的L系统构建出不同层次的花朵形态模型,采用双三次Bezier曲面来构造花瓣模型,运用基于三角形面片模型的二维纹理贴图方法,可完成任意层次的花朵建模。该方法简单直观,并且真实感效果较好。

关键词 重瓣花朵,Bezier曲面,三角化,扩展L系统

中图分类号 TP391.9 **文献标识码** A

Visual Analysis of Double Flowers Topology Structure Model Algorithm

HUAI Yong-jian ZHOU Wen-ting

(School of Information Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract Aiming at the problems that double flowers structure is relatively complex, and petals arrangement of the nonlinear is stronger, and the three dimensional simulation effect is poor, this paper put forward a double flowers topology structure model algorithm. Using peony as examples, according to the arrangement of botany petals theory, joining the randomized function, expanding the L system to construct different levels flowers form model, using two Bezier surfaces three times to construct the petals model, using 2 d texture mapping method based on triangle strips of model, the algorithm can complete any level of flowers modeling. This method is simple, intuitive, and the reality sense effect is good.

Keywords Double petal flower, Bezier surface, Triangularization, Extend Lsystems

1 引言

随着虚拟现实技术在农林业领域的应用逐渐广泛,对自然界中植物形态及生长发育进行建模,已成为计算机图形学一个重要的应用研究领域。应用虚拟植物模型,可以非常直观地对农田、森林等复杂的生态系统进行研究,并且发现传统研究方法和技术手段难以观察到的规律。近年来,虚拟植物可视化研究有了很大的进步,国内外学者在农林作物如玉米、棉花、水稻、小麦等的器官、个体和群体可视化方面做了大量研究^[1-3]。同时,随着信息技术在园林领域的广泛应用,花卉的形态建模和可视化研究也得到越来越多的关注^[4]。

花卉植物是自然景观的重要组成部分之一,种类繁多,结构复杂。花朵由很多部分组成,例如花枝、萼片、花瓣和花蕊,而每个部分都呈现出不同的三维形状,并以复杂的结构相连接。由于拓扑结构和几何结构的复杂性,花瓣排列方式非线性较强,三维模拟效果往往较差。其中花瓣的排列方式决定了花朵的视觉效果。本文基于花瓣排列理论和实际观察,利用Bezier曲面,结合扩展的L系统^[5-7],提出了一种花朵拓扑结构算法,用以完成任意层次的花朵建模。

2 花瓣的三维几何建模

2.1 花瓣纹理图像处理

首先,对实际拍摄图片进行二值变换,然后采用 Marching Square 算法准确提取出花瓣轮廓^[8]。由于从照片中提取的纹理相对实物会出现较大偏差,尤其花瓣内存在尖锐褶皱,因此通过图像处理软件进行去除直线褶皱、加深颜色、模糊化等处理。牡丹花瓣处理过程如图1所示。良好的预处理步骤能为下一步的操作打下良好的基础。

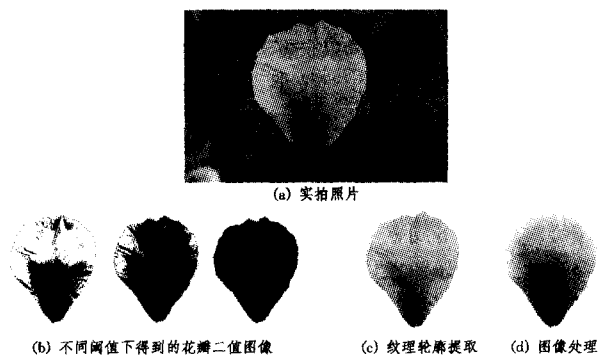


图1 花瓣纹理提取过程

到稿日期:2011-11-17 返修日期:2012-04-02 本文受国家自然科学基金(30872066)资助。

淮永建(1970—),男,教授,博士生导师,主要研究领域为虚拟现实技术、虚拟景观、数字林业,E-mail: huaiyj@163.com;周文婷(1987—),女,硕士生,主要研究领域为虚拟植物、虚拟景观。

2.2 花瓣的三维几何建模

目前,曲面植物器官建模主要有以下几种方法:(一)三角网格化算法;(二)NURBS 曲面;(三)双三次贝塞尔曲面。在 OpenGL 中提供了许多方便的绘制方法,比如 NURBS 曲面、Bezier 曲面等,它们可通过较少量的参数(控制点)来精确地描述真实曲面。

Bezier 曲面是一种控制用多边形定义曲面的方法,其中,双三次 Bezier 曲面是使用最为广泛的 Bezier 曲面造型工具,Bezier 曲面的定义如下:

设 $P_{ij} (i=0,1,\dots,n; j=0,1,\dots,m)$ 为 $(n+1) \times (m+1)$ 个空间点列,则 $m \times n$ 次 Bezier 曲面定义为:

$$S(u,v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m B_i, n(u) B_j, m(v) p_{ij} \\ u,v \in [0,1]$$

如果 $n=4, m=4$, 此时 Bezier 曲面称为双三次 Bezier 曲面,其曲面表达式简化为:

$$S(u,v) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 B_i, 3(u) B_j, 3(v) p_{ij}$$

Bezier 曲面的绘制有 3 种方式:GL_FULL, GL_POINT, GL_LINE, 分别指面片模式、点模式、直线模式。构造双三次 Bezier 曲面需要给定控制点 $P_{ij} (i=0,1,\dots,n; j=0,1,\dots,m)$, 同时指定 u, v 方向, 利用已知的型值点构造公式, 将每组 (u_i, v_j) 代入公式, 求出其对应的点 Q_{ij} , 将 Q_{ij} 按 u, v 方向与它们最近的点连接, 形成一张网。

2.3 纹理贴图

在进行纹理贴图时,希望看到所选定的较大曲面片能够被纹理图片尽量覆盖。基于这个标准,考虑先将纹理三角化后,再将每个三角面片与曲面网格对应进行映射,从而可以避免曲面网格浪费,使其最大化,纹理更清晰。三角网格可无限逼近边界复杂的结构,在三角剖分技术中 Delaunay 三角化因其良好的数学基础和理论特性,广泛应用于各领域。

平面点集的三角剖分定义: S 为 E^d 空间的有限点集, $S = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$, E 为 S 中所有点连接成的线段的集合, $E = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_i\}$, $i \leq 3n-6$, G 为 S 的三角化剖分 $T = (S, E)$ 形成的平面图, G 中所有点属于 S , G 中所有边互不相交, G 中所有面都是三角形, T 是 S 的凸包。

Delaunay 边定义: S 为 E^d 空间的有限点集, $S = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$, E 为 S 中所有点连接成的线段的集合, $E = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_i\}$, $i \leq 3n-6$, 若 e_i 为 Delaunay 边, 则其外接圆内不包含任意 v_n 。

3 花朵拓扑结构

3.1 花瓣排列理论

Richard S. Smith 等给出了原基在生长过程中的排列方式, 可以将其应用在花瓣的建模中。其主要思想是, 用 J 代表同一时间内生长出新的原基个数, 如 $J=2$ 代表有两个花瓣在同一时间内同时长出。花瓣的排列方式和相邻花瓣的发散角 θ (Divergence) 有关, 相邻的花瓣会形成明显的斜列线, 一般情况下会形成两组方向相反的斜列线, 并且这两组斜列线的数目存在一定的规律性。它们是一组特殊序列的两个相邻元素, 通常表示为 $\langle 1, t, t+1, 2t+1, 3t+2, 5t+3, \dots \rangle$, 其发散

角为 $2\pi * (t+a^{-1})^{-1}$, $a \approx 1.618^{[5]}$ 。

上述花瓣排列方式可简化为 3 种, 如图 2 所示。



图 2

镊合状: 花瓣各片的边缘彼此相接触, 但不覆盖, 莲花花瓣按此方式排列。

旋转状: 花瓣每一片的一边覆盖着相邻一边的边缘, 而另一边又被另一相邻片的边缘所覆盖, 菊花花瓣按此方式排列。

复瓦状: 与旋转状相似, 只是花瓣中有一片或二片完全在外, 另一片完全在内, 月季花瓣按此方式排列。

3.2 花朵生成规则

牡丹花朵的概形近乎圆形、半侧或全侧、似椭圆形, 单瓣花似碟形, 重瓣则像几个大小不等的水碗重叠。

(1) 设花朵层数为 g_nLayer , 每层花瓣数为 $g_nPerlayer$, i 为第 i 层, j 为第 j 片, 发散角:

$$angle = 360.0 * j / g_nPerlayer + rand + (i \% 2) * 180.0 / g_nPerlayer$$

第一个加项是等分的旋转角度, 中间加项是随机旋转角度, 最后一个加项是让奇偶层交错半个等分角度。

(2) 花朵的合拢效果主要受每片花瓣倾斜角度影响, 即绕 X 和 Y 轴旋转角度。合拢程度随层数而产生非线性变化, 随着层数增加合拢速度增加, 1 层为 0 度, 层数越多越无限接近于 80 度。总的收拢度数为:

$$tin = 50 * atan(g_nLayer * 1.0) * 2 / \pi$$

反正切函数符合该变化条件, 总收拢度数在 0~80 度范围内, 与花瓣数成正比。收拢度数加上不同的随机函数后, 可用作花瓣绕 X、Y 轴的旋转角度。

(3) 花蕊中间用一个球体来表示雌蕊, 用圆柱加球体的合成来表示雄蕊。合成单体在 $r_1 < r < r_2$ 范围内规律生成圆环形蕊群。

扩展的 L 系统公理:

$\omega: AB$

$p_1: B \rightarrow [S_{ij}][C][P_{ij}]$

$p_2: S_{ij} \rightarrow [!Z_i][\#Y_{ij}][!Z_{ij}]$

$p_3: P_{ij} \rightarrow P - (angle) / (R_x) \& (R_y)$

$p_4: P_i \rightarrow 0.9 P_{i-1} * rand()$

$p_5: C \rightarrow \sim c$

公理 ω : 表示最初花朵是由花枝 A (包括叶子) 和花朵 B 组成。

产生式 p_1 : 表示花朵 B 由花蕊 S、萼片 C 和花瓣 P 组成。

产生式 p_2 : 表示花蕊 S 由一个球体以及数个圆柱和球的合成体组成。

产生式 p_3 : 表示第 i 层第 j 片花瓣 P 的发散角为绕 Z 轴旋转 $angle$ 度, 绕 X 轴旋转 R_x , 绕 Y 轴旋转 R_y 。

产生式 p_4 : 表示上层花瓣是下层花瓣的 0.9 倍小范围随机波动。

(下转第 288 页)

- (6):1149-1161
- [2] 卓问,曹治国,肖阳. 基于二维 Arimoto 熵的阈值[J]. 模式识别与人工智能,2010,22(2):208-213
- [3] 潘酷,吴一全. 二维 Renyi 熵图像阈值选取快速递推算算法[J]. 中国体视学与图像分析,2007,12(2):93-97
- [4] 唐英干,邱秋艳,赵立兴. 基于二维最小 Tsallis 交叉熵的图像阈值分割方法[J]. 物理学报,2009,58(1):9-15
- [5] 黄金杰,郭鲁强,逯仁虎,等. 改进的二维 Renyi 熵图像阈值分割

(上接第 283 页)

产生式 p_s : 表示绘制萼片曲面。

其中:

$\sim x$: 在指定位置和方向绘制字符 x 表示的曲面。

$\#Y$: 在指定位置和方向绘制字符 y 表示的圆柱。

$!Z$: 在指定位置和方向绘制字符 z 表示的球体。

4 实验结果

花卉植物是自然景观的重要组成部分之一,其种类繁多,结构复杂。花朵由很多部分组成,例如花枝、萼片、花瓣和花蕊,而每个部分都呈现出不同的三维形状,并以复杂的结构相连接。由于拓扑结构和几何结构的复杂性,花瓣排列方式非线性较强,因此三维模拟效果往往较差。传统的算法中,多是基于计算机视觉原理,通过采集的二维坐标转换成三维坐标,来完成三维视觉模拟。但是,花卉的结构往往比较复杂,因此在二维坐标采集的过程中会出现坐标重叠、冲突等问题,而转换的三维坐标往往在单一坐标轴上存在不收敛的问题,会造成三维特征的丢失、模糊,从而存在较大的渲染缺陷,造成模拟效果不真实等问题。

为了验证本文提出算法的效果,需要运用本文方法进行实验,对结构较为复杂的花瓣进行计算机的三维模拟。花瓣的三维划分方法如图 3 所示。

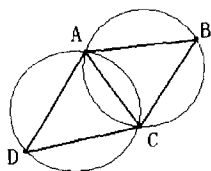


图 3 Delaunay 三角形

其中,三角划分保证划分的结果都是最优三角形,最优三角形的划分不但能够大幅缩短建模时间,也能较清晰地完成复杂物体的三维视觉化过程。对叶片的三角划分结果如图 4 所示。

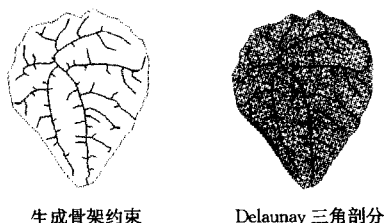


图 4

在三维视觉模拟之前,需要对其进行二维特征提取。准确采集特征值是成功模拟的关键。提取了二维特征之后,就可完成花瓣的视觉化过程。运用本文的方法对结构较为复杂的牡丹花进行三维建模视觉化处理,模拟效果图如图 5 所示。

[J]. 计算机科学,2010,37(10):251-253

- [6] Shi Y, Eberhart R C. Empirical study of particle swarm optimization [C]// International Conference on Evolutionary Computation. Washington, USA: IEEE, 2000: 1945-1950
- [7] Kennedy J, Eberhart R C. Particle Swarm Optimization [C]// Proc. IEEE International Conference on Neural Networks. Perth, Western Australia: IEEE, 1995(4): 1942-1948



图 5 模拟效果图

对建模后的视觉效果进行统计,统计结果如表 1 所列。

表 1 实验结果统计表

数理分析	建模结果			
	采集数据点	角度平均偏差	距离平均偏差	平移量
三维牡丹花模型	108	X:0.419	2.4	X:7.523
	108	Y:0.842	1.2	Y:7.023
	108	Z:0.554	1.7	Z:6.532

通过实验效果图可以看出,本文方法建立的实验效果图较好地完成了复杂花瓣的三维模拟,在三个坐标轴上取得的效果均符合误差的标准;在特征点采集部分,无需采集海量的特征点,所取得的直观建模效果也较为清晰,本文算法是有效的。

结束语 随着虚拟植物可视化技术的快速发展,高度真实感的花卉建模仿真和渲染技术已成为植物形态可视化的重点之一,由于花卉形态结构复杂,特征多变,因此其给高度真实感的建模仿真带来了挑战。本文通过分析常见牡丹花的形态特征,构建了描述其三维拓扑结构的数学模型,在实现过程中,从理论与实践两方面出发获得花朵结构特征,以实现重瓣的花朵形态结构可视化。

另外,在花朵可视化中,应重点考虑花朵本身的拓扑结构,对花卉整体的拓扑结构也需进一步研究。

参考文献

- [1] 罗燕,等. 一种基于层次细节技术的植物形态系统模型优化算法[J]. 计算机科学,2010(02):300-303
- [2] 伍艳莲,等. 基于 OpenGL 的小麦形态可视化技术[J]. 农业工程学报,2009,25(1):121-126
- [3] 王立臣,淮永建. 虚拟植物叶片的可视化建模技术研究[J]. 计算机仿真,2010,27(5):204-208
- [4] Bagnato Luigi, Frossard P, Vanderghyest P. A Variational Framework for Structure from Motion in Omnidirectional Image Sequences[J]. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 2011, 41(3):182-193
- [5] Paladini M, Bue A D, Stosic M. Factorization for non-rigid articulated structure using metric projections[C]// 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2009:2898-2905
- [6] Olsen L, Samavati F F, Sousa M C, et al. Sketch-based modeling a survey [J]. Computers & Graphics, 2009, 33(1):85-103
- [7] Johannes P F. Gaussian filter of images: a regularization approach [J]. Signal Processing, 2009, 18:169-181
- [8] Chen M, Presting G, Barbazuk W B, et al. An integrated physical and genetic map of the rice genome[J]. Plant Cell, 2009, 14:537-545