

DOI:10.11937/bfyy.201608054

# 国内花卉三维可视化研究进展

李 辉<sup>1</sup>, 罗 敏<sup>2</sup>, 何 兴 无<sup>3</sup>

(1. 成都农业科技职业学院 信息技术分院, 四川 成都 611130; 2. 四川水利职业技术学院 信息工程系, 四川 崇州 611200;  
3. 成都师范学院 网络与信息管理中心, 四川 成都 611130)

**摘 要:**花卉作为自然景观中的重要组成元素,其品种繁多、形态各异、结构复杂、纹理丰富,并且具有很强的特征性,再加上光照、风力等细节的影响,其三维可视化存在较大难度。花卉植物形态及其生长发育可视化已成为计算机图形图像学领域的研究热点和难点之一。现分别从花卉形态三维可视化研究内容、建模方法、动态模拟以及业界现状等方面进行综述,分析并比较了一些典型方法的基本原理、关键技术、制作方法和优缺点;最后对该领域未来的发展趋势进行了展望。

**关键词:**花卉;三维;可视化;建模;图形;图像

**中图分类号:**TP 391 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)08-0200-04

随着计算机三维技术的发展,花卉植物形态及生长发育可视化研究越来越广泛地运用于教育科研、园林园艺等领域,具有广泛的应用价值。与草体、树木等其它植物相比,花卉的几何结构更为复杂,纹理表现也更细微和丰富,再加上光照、风力等细节的影响,使得花卉的三维可视化研究成为计算机图形图像领域的热点与难点之一。

## 1 花卉三维可视化研究内容

花卉三维可视化的研究内容主要包括 2 个方面:一是基于计算机图形学实现花卉形态结构的三维重现与仿真;二是基于花卉生理学实现花卉动态生长过程的模

拟。前者更注重三维仿真效果的视觉体验,后者更遵从花卉植物的生长规律。有的研究也将二者相结合,通过逼真的外观形态展现具有一定理论真实性的花卉生长过程。

## 2 花卉三维可视化建模方法

花卉形态的三维可视化建模方法主要有 2 种:一是图形方法,通过虚拟出结构的拓扑表达式来描述花卉植物的形态特征。二是图像方法,通过分析和处理自然花卉植物图像,获取其二维几何信息和拓扑信息,提炼出三维几何特征值,再根据相关三维重建算法将这些特征值重构成花卉的三维模型(图 1)。

### 2.1 图形方法

构造花卉植物形态三维可视化的图形方法主要有分形方法、L-系统、交互方法和随机过程法。

**2.1.1 分形方法** 分形几何的核心思想是非规则几何形态其局部形状和整体形态的自相似性。分形以非常简单的方法确定,花卉建模主要采用迭代函数系统

**第一作者简介:**李辉(1981-),女,四川资中人,硕士,讲师,现主要从事数字农业与虚拟现实技术等研究工作。E-mail:lhdxl2005@163.com.

**基金资助:**四川省教育厅自然科学一般资助项目(16ZB0417);四川省教育厅教改资助项目(14-21-202);成都农业科技职业学院教改资助项目(JG2015-01)。

**收稿日期:**2015-12-16

## Research Advance on Effect Factor of Leaf Pigment Content in Colored-leaf Plants

WU Hui, WANG Aibo, PAN Yizhan

(The Academy of Landscape, Shangqiu University, Shangqiu, Henan 476000)

**Abstract:** In addition to genetic factors, content change of the leaf pigment in colored-leaf plants are influenced by outside factors. These have been reviewed from several aspects, including light, temperature, pH value, water, organics, fertilization and others. It was expected to provide reference for introduction and cultivation of colored-leaf plants.

**Keywords:** colored-leaf plants; pigment content; effect factors

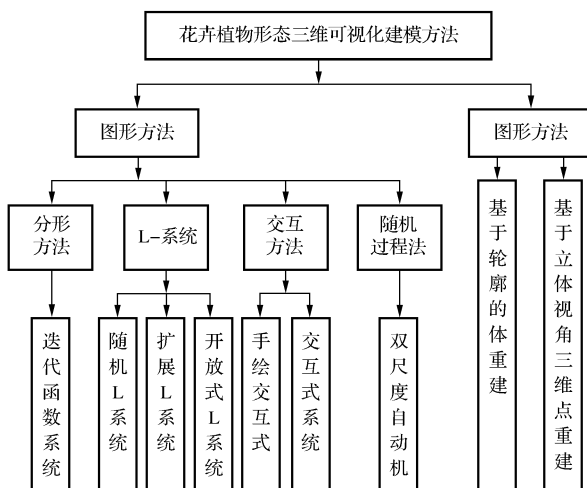


图1 花卉植物形态三维可视化建模方法

(IFS)实现<sup>[1]</sup>。只要给出仿射变换系数,并经过迭代运算,就可以快速生成分形物体的图像。王良等<sup>[2]</sup>提出了基于分形理论的三维菊花建模算法。采用多边形几何面构造花瓣,花瓣按照斐波拉契序列分层排列形成花朵,通过构造菊花仿射变换矩阵实现迭代函数变换生成三维分形菊花模型。该方法实现的花卉模型较为真实,但花瓣之间、层与层之间缺少细节变化。在上述研究基础上,从波等<sup>[3]</sup>利用花瓣的纵切线曲线、花瓣之间、多层花瓣的层与层之间具有自相似性,通过统计结果和数学实验得出莲花、菊花等花卉花瓣和花朵的算法模型 IFS 码。以二次曲线为初始迭代元生成三维花瓣,以三维花瓣为初始迭代元生成三维花朵。生成的模型形态美观,真实感较高,复杂度低,避免了用三角形面片作为初始元方法的不真实性和用三维曲面表示花瓣构造曲线方程的复杂性。局限性在于生成的花瓣形态过于圆滑,缺少细节变化。目前基于分形方法的研究成果主要限于单瓣花卉花瓣与花瓣之间的复制与迭代,无法更好地实现形态更为复杂的复瓣和重瓣花卉建模。由于 IFS 法由点构成图形,模拟结果与现实中的花卉模型还有较大差距,真实感有待加强。

2.1.2 L-系统 由于 L-系统简洁性、结构化的特点,已成为植物形态模拟中最常用的方法之一<sup>[4]</sup>。基于迭代重写机制,对植物对象生长过程和规律进行概括和抽象,通过字符发展序列描述、迭代、解释表现植物的拓扑结构和生长过程。根据自然形态模拟的不同需要,发展了扩展 L-系统、随机 L-系统等。秦培煜等<sup>[5]</sup>用扩展的 L-系统对花卉的拓扑结构进行描述,使用参数化曲面对花瓣几何形态进行表现,将花朵的拓扑结构和几何结构融合,提出了苹果花的图形生成算法。该方法要准确获取 Bezier 曲面的控制顶点矩阵需要其它算法或借助图形软件实现,过程较繁琐。周文婷<sup>[6]</sup>在花瓣排列方式等理论基础上,加入随机扰动函数,通过扩展的 L-系统,构建出具有花形通用性的适合单瓣、半重瓣、重瓣花朵拓扑结构模型算法。生成的模型自动化程度高,结合不同的花

瓣纹理,可完成一定区间任意层次的花朵建模,真实感效果较好。但构建的模型只考虑了自身形态结构特征,缺乏生理生态学基础。L-系统适合花卉的枝干或树状植物的模拟。在描述花卉的形态结构和生长发育方面存在一定的局限性:L-系统生成和使用过程复杂,通用性不强;它侧重于花卉植物生长规律和拓扑结构的表达,对植物形态随时间与环境所产生的动态变化,难以用结构化语言和参数统一模拟实现。

2.1.3 交互式建模方法 交互式建模主要有基于交互式素材库系统建模和基于手绘草图的建模方法。基于交互式素材库系统建模的核心是建立花卉各组成要素的素材,通过交互式选择素材实现三维建模。较典型的是 Xfrog 系统,提供了强大的植物模型库,所有花朵采用实物扫描,具有真实感强,操作简单方便的优点。缺点是仅从图形学的角度构建植物,没有考虑到植物的生长规律和动态过程;花卉生成结果依赖于素材库,能生成的模型有限。丁展<sup>[7]</sup>开发了基于手绘的交互式建模系统,但花朵的建模只是证明系统通用和可行性的一个实例,没有就花瓣形态的多样性进行深入研究。唐棣等<sup>[8]</sup>通过将花瓣正面、背面和侧面投影画法相结合,将投影线条用几何变换知识编写相应函数,通过计算出的横截面曲线得到各点的三维坐标值,将这些三维空间点相连接成三角网格空间结构,构造三维花瓣曲面。该方法建模时间短,操作简便,模型灵活,易于接受。为弥补建模得到的花瓣形态单一以及生成外弯曲型花瓣的真实感较差的缺陷,濮群等<sup>[9]</sup>提出通过手绘曲线提取花瓣外围的二维轮廓点,通过弯曲函数得到三维空间点信息,通过对这些点的处理形成不同种类的花瓣,用花瓣色彩渲染方法或添加花瓣纹理,实现真实感渲染。通过荷花、百合等进行试验建模验证了该方法的有效性和通用性,操作简单易懂,适用范围广,得到的结果理想真实,且生成的花朵种类繁多。基于手绘的交互式花卉建模法操作简便灵活,实用性强,适用范围广,效果较为真实。但由于手绘的随意性,增大了模型细节的处理难度。

2.1.4 随机过程法 随机过程法是由法国 DEREFFYE 等提出的基于有限自动机的植物形态发生建模方法<sup>[10]</sup>。赵星等<sup>[11]</sup>发展了双尺度自动机模型,通过引入“同步生长机制”和“重复生长机制”,模拟出花序类型;通过“生长延时机制”,实现了“向顶花开”和“向基花开”2 种开花顺序的模拟。该方法物理意义明确、数据输入简单、过程分析直观,易于理解和编程实现。它定义了植物的生长过程,但不能为外界作用影响下植物的多数动态行为建模。

## 2.2 图像方法

基于图像的建模方法摆脱了图形方法的复杂度、真实感、绘制速度等方面的制约。它不依赖于几何模型,而是借助于光学仪器获取一组图像序列,用以组合生成不同视觉的新视图。

2.2.1 基于轮廓的体重建方法 三维空间中的物体都

具有轮廓信息,利用这些可以进行重建。杨荣等<sup>[12]</sup>提出通过在初始模型上选取采样点并调整其位置,按点填充由点组成的轮廓得到花瓣模型。该方法能模拟很多植物花瓣,可推广到虚拟场景的大规模花朵模拟。淮永建等<sup>[13]</sup>针对重瓣花朵结构复杂、花瓣排列非线性较强、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。以牡丹为例,对实际拍摄图片进行二值变换,采用 Marching Square 算法准确提取出花瓣轮廓,采用双三次 Bezier 曲面构造花瓣模型,运用基于三角形面片模型的二维纹理贴图法,加入随机扰动函数进行花瓣排列,通过扩展的 L 系统构建出任意层次的花朵形态模型。徐旭东等<sup>[14]</sup>、王菁<sup>[15]</sup>综合运用实地测量、微距拍摄等方法获取所需的几何建模数据和纹理图片。运用 Bezier 曲面实现了花瓣的曲面建模,结合 OpenGL 拾取技术对花瓣的特征控制点进行微调,模拟出不同的弯曲形态。参考花瓣、叶片的数目和排列方式设定参数,实现吊兰、百合等花朵拓扑结构建模。基于轮廓的建模技术只需用户使用普通照相机(摄像机)围绕目标物体进行拍摄,并通过多幅图像(视频)信息重建静态或动态的复杂曲面模型<sup>[16-17]</sup>。该方法简单有效,当拍摄的视角足够多时,生成的模型精确度较高,具有较强的实用价值。

2.2.2 基于立体视角的三维点重建 殷小舟等<sup>[18]</sup>利用 2 个平行且位置相对固定的摄像机组成双目立体视觉系统,结合 Chatterjee 方法进行摄像机标定,采用区域相关匹配算法对获取的图像进行立体匹配,将获取的三维点云信息结合 Delaunay 三角剖分对花卉进行三角网格化处理,同时辅助人工处理,实现了非洲菊、钱线莲等花卉的表面建模工作。该方法具有快速、非接触、自动化程度高的特点。但必须采集花卉顶端图像数据;同时花卉的花心部分因其功能结构更为复杂,重建效果不太理想。基于图像的建模方法以图像作为信息源,使建模局限于所采用的图像,对复杂场景建模需要大量数据采样,技术要求高,对拍摄设备精度要求高,匹配计算量大;由于光照、风力等影响因素,使得从照片中提取的信息很难表现花瓣之间的重叠、遮挡、折叠等问题;对三维信息的重构也存在算法上的差异和人工干预,使得结果图片不能很好地表达真实图片信息,在动态植物景观方面尤为欠缺。

### 3 花卉三维可视化动态模型

#### 3.1 基于 L-系统的动态模拟

曾令秋<sup>[19]</sup>以 Bezier 曲面的方法建立花的几何模型,用 L-系统将这些 Bezier 曲面组合起来,实现花开的生长过程,建立了符合生物学原理的动态生长模型。该研究所能模拟的花朵品种和花开样式有限,由于纹理采样时的初值敏感性,纹理合成效果差异较大,真实感有待加强。张海鹏等<sup>[20]</sup>提出了基于骨架驱动的花朵开放可视化方法。通过平面变形构造出描述花朵形状特征的数学模型,生成花瓣骨架,通过驱动骨架模型发生形变实现花瓣曲面变形;通过对圆柱参数方程进行位移扰动,

模拟花蕊的弯曲变形;结合参数 L-系统实现了百合花的动态开放过程模拟。该方法能够有效地描述花朵的拓扑结构和器官形态结构的并行变化,模型结构简洁,易于理解和便于实现。周赞<sup>[21]</sup>采用 L-系统,模拟了植物生长过程;通过采用位移纹理、曲面变形等技术实现了植物从生长发育至衰老死亡全过程的可视化模拟。其中,通过全局控制 Bezier 曲面有效模拟生长发育全过程,具有一定的通用性和扩展性。

基于 L-系统的动态模拟实现手段简单,易于人为控制;但缺乏对植物的生长过程和自然环境相结合的研究,实现的花卉动态模型不够生动、逼真。

#### 3.2 基于 OpenGL 技术的动态模拟

OpenGL 是一个跨编程语言、跨平台、功能强大的专业图形程序接口,可方便地建立三维模型。

刘金定等<sup>[22]</sup>基于 OpenGL 采用大量四边形面片绘制出荷花整体形态,用 C++ 调用 OpenGL 的方法实现了荷花开放过程的三维可视化模拟,具有较强的真实感。但在花茎、花蕊、花朵开放时的大小渐变过程方面有待深入研究。张铭<sup>[23]</sup>以 12 种不同花卉为原型,用 Bezier 曲面设计花朵模型,通过 OpenGL 函数控制 Bezier 曲面关键点信息,用数学建模方法结合 OpenGL 和 Visual C++ 实现了 12 种花卉的开放过程展现。该研究缺乏花开过程中的碰撞检测和处理,花的位置设计不够紧密,数学模型有待改进与完善。

#### 3.3 基于动态生长函数和方程的动态模拟

涂晓兰<sup>[24]</sup>提出了基于草图建立花的模型以及花开过程中的花瓣形变方法。用草图绘制方法通过 B 样条曲面表示花瓣;根据花苞模型分析花开过程,提取出描述花瓣生长特性的参数;根据花的初始和最终形态模型,获取相应的生长参数,以此建立动态生长函数,控制模型做相应的形变来生成花开放的中间过程,同时通过花瓣碰撞检测算法避免花瓣间的相互穿透。该方法简化了花开动画的制作流程,操作简单方便,提出了一种新的高效算法检测花瓣形变过程中的碰撞。局限性在于仅以弹开的方法调整花瓣的形变可能会破坏花瓣生长规律,对于花瓣边缘不规则的玫瑰花等花种建模困难,其碰撞检测算法难以实现花瓣最底部的相交效果。宋成芳<sup>[25]</sup>采用草图的交互绘制方式,建立花苞和成花的几何模型;将模型分解和对比,推导了集合 Logistic 函数和三次函数优点的混合型生长函数,并以之计算花朵在开放过程中的连续形变。该方法简化了花开模拟的计算,又使得花开的连续过程符合生物学原理。但仅实现了一个原型系统,所能建模的花朵品种和模拟的花开样式有限,花朵的真实感有待提高;同时草绘图形的识别需要借助其它工具,调整花瓣形态也需要重新输入草绘图形;准确草绘花瓣轮廓对大多数用户难度较大。曾茜<sup>[26]</sup>结合花卉植物生长特性,通过 MATLAB 对其茎高、基生叶片长度、花瓣长度进行曲线拟合,建立了 S 型生长曲线,采用 Logistic 方程实现了郁金香、茉莉等多种



花卉植物的形态模拟和动态生长过程。该方法结合曲面建模和顶点缓存技术,在灵活调节器官曲面形态的同时提高了绘制速率;还需加强环境因子对花卉形态和生长过程的影响研究。丁德红等<sup>[27]</sup>结合分形算法和植物生长函数,提出了三维植物花朵动态仿真模型的分形构造算法。该方法以生长函数对花朵的开放过程进行控制;利用 Bezier 曲面提供花瓣曲面的关键点;以 PlantVR 为平台实现了油菜花的开放过程仿真。该方法能快速实现花朵的开放过程仿真,但对于花朵的颜色、中轴以及花瓣扩张的仿真结果跟原始花朵存在一定的差距,仿真模拟的实用性和真实性有待加强。

#### 4 结论与展望

由于花卉结构复杂、纹理丰富,使其无论在造型、动态模拟方面都存在较大的困难。从当前的研究进展来看,存在一些问题有待进一步深入研究。一是由于许多图形应用如虚拟现实等对自然场景真实感和实时性的要求,花卉真实感、实时感绘制仍将是研究的重点和难点,绘制速度和图形质量还有较大的提升空间。二是当前主要采用基于图形或图像的方法实现单株花卉的可视化模拟,缺乏对于大规模花卉场景的模拟研究。三是花卉形态和动态模拟受到风力、光照、温度、湿度等自然环境条件多方面因子影响,对更为复杂、逼真的花卉交互模拟将是未来的一个重要研究方向。

#### 参考文献

- [1] 彭辉,刘善梅.分形理论在植物形态模拟中的应用[J].农机化研究,2010,32(6):190-193.
- [2] 王良,曾兰玲.基于分形三维菊花建模算法[J].辽宁工程技术大学学报,2007,26(3):410-411.
- [3] 丛波,王琰.基于分形构造三维花卉的算法[J].沈阳理工大学学报,2008(6):14-17,20.
- [4] 孔勇,璩柏青.L系统在植物形态模拟中的应用[J].农机化研究,2007(4):136-138.
- [5] 秦培煜,陈传波,吕泽华.利用L-系统和Bezier曲面的植物花朵模拟模型[J].计算机工程与应用,2006(16):6-8.
- [6] 周文婷.虚拟植物花瓣的可视化建模方法研究[D].北京:北京林业大学,2012.

- [7] 丁展.基于手绘的交互方式与三维建模研究[D].杭州:浙江大学,2008.
- [8] 唐楦,雷蕾,韩丽.素描式草绘的三维花朵建模[J].计算机工程与应用,2008(33):170-173,193.
- [9] 濮群,曾兰玲,张建明.基于手绘花瓣的花朵建模方法[J].计算机应用研究,2012,29(5):1959-1962.
- [10] 丛波.基于分形的三维花卉建模算法研究[D].沈阳:沈阳理工大学,2009.
- [11] 赵星,de REFFYE P,熊范纶,等.基于双尺度自动机模型的植物花序模拟[J].计算机学报,2003,26(1):116-124.
- [12] 杨荣,袁修久,刘栋,等.一种植物花瓣形态建模的新方法[J].计算机应用研究,2010,27(11):4363-4365.
- [13] 淮永建,周文婷.基于重瓣花朵拓扑结构模型算法的可视化研究[J].计算机科学,2012(9):282-283,288.
- [14] 徐旭东,王菁.基于OpenGL的虚拟吊兰建模与可视化研究[J].计算机工程与设计,2013,34(12):4304-4309.
- [15] 王菁.虚拟花卉形态建模方法研究[D].北京:北京工业大学,2013.
- [16] 曹煜,陈秀宏.基于图像轮廓的三维重建方法[J].计算机工程与应用,2012,48(6):205-207.
- [17] 曹煜,陈秀宏.基于侧影轮廓的图像三维重建方法[J].计算机工程,2012,38(5):224-226.
- [18] 殷小舟,淮永建,黄冬辉.基于双目立体视觉的花卉三维重建[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2012(3):91-94.
- [19] 曾令秋.虚拟植物器官生长和变形技术研究[D].重庆:重庆大学,2009.
- [20] 张海鹏,何东健.植物花朵开放虚拟研究[J].农机化研究,2012(12):16-20.
- [21] 周赞.高度真实感的观赏植物形态与生长可视化[D].北京:北京林业大学,2014.
- [22] 刘金定,伍艳莲,梁敬东.基于OpenGL的荷花开放过程模拟[J].安徽农业科学,2008,36(25):11054-11056.
- [23] 张铭.三维花开过程动态模拟技术研究[实现][D].厦门:厦门大学,2009.
- [24] 涂晓兰.花开期花瓣的形变模拟[D].杭州:浙江大学,2007.
- [25] 宋成芳.动态植物场景的建模与仿真研究[D].杭州:浙江大学,2007.
- [26] 曾茜.花卉植物形态与生长可视化仿真研究[D].北京:北京林业大学,2011.
- [27] 丁德红,方遼,饶大鹏,等.三维植物花朵动态仿真模型技术研究与实现[J].农机化研究,2014(5):16-19.

## Research Progress on Three Dimensional Visualization of Flowers in China

LI Hui<sup>1</sup>, LUO Min<sup>2</sup>, HE Xingwu<sup>3</sup>

(1. Department of Information Technology, Chengdu Agricultural College, Chengdu, Sichuan 611130; 2. Department of Information Engineering, Sichuan Water Conservancy Vocational College, Chongzhou, Sichuan 611200; 3. Network and Information Management Center, Chengdu Normal University, Chengdu, Sichuan 611130)

**Abstract:** As an important element in the natural landscape, its variety, complex structure, rich texture, and strong characteristics, combined with light, wind and other details, the 3D visualization of flowers is difficult. Flower morphology and growth visualization has been one of the hotspots and difficulties in the field of computer graphics. The overview on the research content, modeling method, dynamic simulation and industry status and other aspects was presented in this paper. The basic principle, key technology, production methods, and the status quo of research and the advantages and disadvantages etc. were also researched. In the end, the trend of the development of this field was prospected.

**Keywords:** flower; three dimensional; visualization; model; graphics; image