

树的建模技术研究综述与展望

周 骏^{1,2} 陈雷霆¹ 刘启和¹ 李艳梅¹ 饶云波¹

(电子科技大学计算机科学与工程学院 成都 610054)¹ (西南大学计算机与信息科学学院 重庆 400715)²

摘 要 树的建模技术是计算机图形学近年来研究的热点问题之一。侧重从计算机图形学的研究角度,对树的建模技术分别从基于规则的树建模技术、基于草图的树建模技术、基于图像的树建模技术 3 个方面进行了总结和综述,介绍了近年来提出的典型的树建模方法及最新研究进展,对其中涉及的关键技术进行了总结分析,给出了这些技术的基本思想、局限性和使用范围,并加以分析比较,最后对树的建模技术的未来研究方向给出展望。

关键词 三维树建模,虚拟现实,规则建模,草图建模,图像建模

中图分类号 TP391.9 **文献标识码** A

Review and Prospect of Tree Modeling Techniques

ZHOU Jun^{1,2} CHEN Lei-ting¹ LIU Qi-he¹ LI Yan-mei¹ RAO Yun-bo¹

(School of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)¹

(School of Computer Science and Information, Southwest University, Chongqing 400715, China)²

Abstract Tree modeling is an important issue that interests both computer graphics and computer vision communities. This paper surveyed the recent techniques for tree modeling from the point of view of graphics, which are based on rule-based modeling, sketch-based modeling and image-based modeling techniques, and tried to characterize these algorithms according to their base techniques, assumptions, limitations and range of utilization. Some typical methods were summarized and the state-of-the-art progress was presented. The fundamental principles behind each technique were also analyzed and compared. Finally, some future research issues on tree modeling were highlighted.

Keywords 3D tree modeling, Virtual reality, Rule-based modeling, Sketch-based modeling, Image-based modeling

1 引言

场景的建模是计算机图形学和虚拟现实的一个重要研究课题。在自然界和城市的不同场景中,树有着不同的表现形式,无论是室内还是室外,树通常是自然环境的一部分。随着计算机图形学对真实世界的模拟,树从一开始便成为了计算机图形学的一个基本而又广泛的研究领域。由于树本身所固有的生态特征和植物学规律,要实现真实感的树建模,必须考虑树自身的生长规律和外在表现形式。实时、简洁、方便地实现高度真实感树的建模,是近年来研究追求的目标。

树的建模是虚拟植物建模的重要分支。树是自然界最常见的景观之一,其种类繁多,结构复杂,形状具有丰富多彩的细节特征。对树的生长过程和外在表现形式进行建模,对于探索植物生长过程的规律,深化对农学、植物学的研究具有重要的意义。由于应用要求的不同,其中的部分树的建模应用于农业植物生长研究,注重于通过建立的树生长机理模型来探寻植物内部生长发育的规律、植物间相互影响的作用。在树建模时,涉及到树生态生理模型,要求植物学知识的真实性。而我们所关注的树建模,目的是简洁、快速地生成具有真

实感的图形,侧重于计算机图形学,它主要用于游戏娱乐、虚拟场景、战场可视化及计算机辅助设计等领域。关于早期植物三维建模的研究综述可参考文献[1,2]。

本文通过全面总结目前在树建模领域所取得的主要研究成果,从计算机图形学的角度,对树的建模技术分别从基于规则的建模、基于草图的建模、基于图像的建模 3 个方面进行了归纳和总结,对其中涉及的主要关键技术进行了综述性介绍,对典型的建模系统进行了分析比较,并探讨了该领域需要进一步研究的若干关键问题,并给出了这一领域的最新研究进展。文中第 2 节主要介绍比较典型的树建模相关研究工作,以及相应的优缺点;第 3 节至第 5 节分别综述基于规则的树建模技术、基于草图的树建模技术以及基于图像的树建模技术,并对每一种建模技术所涉及的关键技术进行了总结分析,给出了这些技术的基本思想和使用范围以及相应的局限性;最后对树建模技术进行了总结并对今后的相关研究方向给出了展望。

2 相关研究工作

对树的建模研究工作最早可以追溯到 20 世纪 60 年代。

到稿日期:2009-07-08 返修日期:2009-10-12 本文受国家 863 计划目标导向项目(2006AA01Z335),国家 863 计划项目(2007AA01Z322)资助。

周 骏(1977—),男,博士生,讲师,主要研究方向为三维建模、计算机动画等,E-mail:zhouj@swu.edu.cn;陈雷霆(1966—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为虚拟现实、计算机图形学等;刘启和(1973—),男,博士,副教授,主要研究方向为图像处理等;李艳梅(1976—),女,博士生,主要研究方向为图形实时渲染;饶云波(1978—),男,博士生,主要研究方向为群体动画。

1968年,Lindenmayer 针对细胞之间交互普遍规律提出了字符串重写系统,也称为 L-system^[3]。他后来在与 Prusinkiewicz合著的书中^[4],把 L-system 应用到植物和树的建模中,在建模过程中,对 L-system 进行了一定的扩展,加入了随机变量以及基于内容的理解等因素。

Honda 提出了利用参数来定义树结构的模型^[5]。阐述了单轴树枝和分叉树枝之间的不同特征,在分叉树枝中,其特征是树枝倾向从原树干中向不同的方向进行分枝,单轴树枝在行为特征上倾向于跟原树干类似,同时 Honda 假设跟重力线平行的单轴树枝只是树枝结构中的特例。

Oppenheimer 利用分形算法来进行树的建模^[6],在建模的过程中,利用了树枝之间的夹角、树枝与树干的大小比例、树干的锥形比率、弯曲度、树枝分叉位置等参数对树进行建模。Oppenheimer 模型遵循分形理论的自相似性,利用同样的规则进行反复递归来生成树,在进行递归时,引入了随机变量以避免使得树的各部分完全相似,使树更具有真实感。

Reeves 和 Blau 提出利用粒子系统来对树和草进行建模^[7]。他们重点在于强调树林总体的环境而不是去关注单棵树的细节,其目的在于取得较好的视觉效果,并不是关注真实树和植物本身的具体特征细节。

De Reffye 等人提出严格利用植物本身的特征规律来进行树的建模^[8],并在模拟树生长方面取得了较好的效果。他们利用植物的死亡、暂停、分叉、反复等概率对植物的生长阶段进行了建模,但要实现对树和植物的建模必须具有对植物和此模型相当多的知识和了解才能实现真实自然树和植物的建模。

Weber 和 Penn 使用了几何规则来实现树的建模^[9],其重点在于实现整棵树的几何结构,但并不是严格按照植物学规律来实现树的建模。用户使用此模型进行树建模时只需具有基本的几何学知识,而不需要掌握了解其它知识。

Okabe 等人提出了基于草图的树的建模^[10],即通过随意地绘制二维树枝草图和基于范例的编辑操作,可以快速、轻松地构建出三维几何树。在从二维草图生成三维几何时,假设了树在各个方向上树枝之间的距离是最大的。同时,提供了基于范例编辑模式,许多的树枝和树叶可以通过设计好的范例快速生成,即使是初次接触的新手也可以快速、交互地实现自然真实的树的建模。

Wither 等人提出了通过绘制二维的树的边缘轮廓,根据轮廓生成三维几何树的草图建模树的新方法^[11]。用户绘制树的总体边缘轮廓草图比绘制树的每根树枝草图更方便、快速和直观。通过结合植物学的知识,可以从用户绘制的树边缘轮廓推测出树枝的结构以及可能的方向和在三维空间中的正确分布。用户可以对树的局部细节和树叶进行草图重新绘制,而其余的部分由于树的自相似特性可以快速生成。

Shlyakter 利用图像得到树的凸包,然后基于 L-system 的生长机制实现树的建模^[12]。首先对图像进行分割,实现树和背景的分割,然后利用每一张图像中树的边缘轮廓计算出近似的三维网格树形状,直接从树的形状推导出主干结构,如树干和初始少量的树枝。当知道了主要树枝结构时,利用 L-system 机制,从已得的树框架开始继续生长,增加其余的树枝和树叶,同时,修剪模式加入到 L-system,以防止树的生长超出三维树的体空间,从而实现具体形状的树的建模。

Reche-Martinez 等人提出完全基于图像(虽然复杂但非常精确)、基于体绘制的树建模方法^[13]。他们的系统要求仔细选择一系列的照片来确定给定树的体空间形状,体空间被分为许多小的单元,每个单元是由一系列纹理计算得到的有效直观表示,整套纹理极好地表示出了真实的树。此系统需要大量的容量来保存纹理空间,而且用户不宜对体绘制进行编辑和修改。

Neubert 等人提出基于多幅图像、只需用户少量交互操作就可生成三维树的模型^[14]。他们的系统把基于图像建模技术和粒子系统建模技术结合在一起。利用输入的图像信息,得到近似的基于体素的树体空间。体素的亮度值用于确定粒子集的初始位置,先从图像提取树干和主要树枝并构建二维的吸引图,这些树枝吸引图结合三维粒子模拟来改变粒子的方向,然后运用异速生长规则在三维图周围建立三角形网格,通过调整粒子模拟的密度和方向,可以实现不同方向下几何形状的改变,而不需要调节许多的参数。

Tan 等人提出了另外一种从图像进行三维树重构模型的方法^[15],该方法只需要用户少量交互式操作就可取得高度自然真实感的三维树。为了减少用户的工作,尽可能多地从图像中获取信息,利用从图像中所得到的树三维点云以及图的思想,先重构出可见的没有被树叶遮挡部分的树枝,而被树叶遮挡部分的树枝,用树的自相似及局部排列恢复出其树枝结构,最后对每一幅原始图像基于颜色进行分割和过滤处理,把得到的树叶映射到树枝,实现树的三维建模。

Pałubicki 等人提出了基于生物学自组织具有真实感树和灌木丛的建模^[16],假设其过程是完全由相对于光照和空间的树枝和树芽以及内部信号机制控制和调节。其生成过程可以通过不同的交互式技术控制,包括过程建模以及草图以及对树枝修剪、弯曲等编辑操作。他们的方法非常有用并具多功能性,结合交互式过程的树建模,能实现对树的建模以及森林场景、树的动画开发等。

3 基于规则的树建模

计算机对植物的建模绘制技术早在 1966 年由 Ulam 提出^[17],紧接着 Lindenmayer 提出了 L-system 作为一种形式体系,根据单个细胞的分裂、生长和死亡来模拟多细胞组织的发展和生长^[3]。随后,Prusinkiewicz 就如何运用 L-system 来对植物进行建模,建立起了系统的体系^[18],取得了较好的效果。同时,其它的对树建模的方法也被提出,从根据参数的算法^[6,8,9,19]到多种方法结合的算法,比如 xfrog 系统^[20]。所有这些基于规则的树的建模系统要求用户手工调节大量的参数以取得较好的模型。

早期提出的树建模方法基本上都属于基于规则的建模,即根据树的生长规律及外在表现的几何规则建模,在对树建模时需要用户调节大量的参数及规则。虽然在模拟树的自然生长及真实感方面取得了较好的效果,但基于规则的建模系统对新用户而言是非常难以操作的,它们不但要求用户具有生态学和植物学方面的专业知识,以进行有效的参数调节,还要求用户必须理解建模规则或者公式是如何应用。在大多数的基于规则的建模系统中,树的全局形状非常难以控制,局部规则的很少改变都会造成整体形状的重大改变。本节对目前在虚拟现实、游戏娱乐中常用的几种基于规则的树建模方法

进行介绍。

3.1 L-system

L-system 是生物学家 Lindenmayer 于 1968 年提出的模拟多细胞有机体生长的形式化体系^[3],最初用于简单的多细胞有机体如藻类,根据其单个细胞的分裂、生长和死亡来进行有机体生长的建模。L-system 随后被运用到高等植物和复杂树枝以及花序的建模^[21],但 Aono 和 Kunii 指出 L-system 不能生成复杂的三维树枝结构^[22],并提出了新的树建模方法,也称为 A 系统,同时也提出了在树建模时的新特性,如吸引力、局限性、树枝夹角的统计等。他们的方法为树的建模研究提供了许多值得借鉴的思想和方法。但在随后 Prusinkiewicz 和 Lindenmayer 合著的书中^[4]对 L-system 建模的方法进行了改进,Aono 和 Kunii 对 L-system 的论断就不再是正确的了。Prusinkiewicz 等人后来对 L-system 做了大量的研究工作,并对其功能进行了扩展,提出确定性 DOL-system^[18],利用乌龟行走算法进行树的建模。同时提出开放式的 OPEN L-system^[23],L-system 在模拟树生长的同时加入了环境因素的模拟,主要是模拟树枝空间竞争导致树枝生长的变化。

L-system 是一种文法系统,或者说是一种形式化描述语言。其本质是一个基于符号的重写系统,其核心概念是重写,根据预先定义的重写规则不断生成复合形状并用它取代初始简单物体的某些部分以定义复杂物体。其过程是字符串开始作为种子的单个字符,一系列的规则定义在重写的迭代过程中的置换字符,即一个字符可以转换为许多的字符。这个过程是一个连续的迭代和字符串增长的过程。通过设置一定的迭代次数,把字符串解释为相应的几何形体,即完成相应的建模。L-system 算法实现的核心思想是“字符串替换”,首先要根据起始符号元和替换规则产生一系列字符串,然后读取字符,按照不同字符表示的意义来执行不同的动作。L-system 用于树的建模非常方便,至今都被用户所采用,但字符串的表示方法非常抽象,难以对植物进行交互式的建模。

3.2 分形法

Benoit Mandelbrot 发现事物的全局结构和局部结构之间的关系是自然现象的一个重要方面,事物的局部细节跟总体结构相似,称之为事物的自相似性^[24]。提出了分形几何的设想,分形图形具有自相似性或自仿射性、层次的多重性和不同层次的规则的统一性。将其局部放大后会发现与原图是相似的,只不过存在图形比例放大缩小,旋转和平移等,即局部是整体的一个小复制品,从而建立了分形法建模的思想。分形几何的自相似性成为自然界的一个普遍现象,这种法则在植物中更为明显。Barnaley 提出了 IFS 系统^[25],IFS 是一个分形构形系统,由一组仿射变换组成,通过对这些仿射变换的重叠迭代生成复杂的分形图,用于模拟树的建模。

Oppenheimer 利用分形算法来进行树的建模^[6],其建模的思想是一棵树由树干和叶子组成,分形算法的基本思想是树有一根主树干,主树干分出多个子树干,每个子树干再分出多个子树干。在计算机中分形算法可以通过递归函数实现,递归中止时则画出带有树叶的树干。具体的方法是首先绘制树枝,如果树枝小于事先设定的尺寸,就绘制树叶,否则继续绘制树枝,在绘制前,要对树枝进行尺寸的缩放、方向的旋转等变化,这样一直重复 n 次直到结束。如果在绘制过程中参

数一直保持不变,得到的树保持严格的自相似性,过于规整,看起来更像蕨类植物。为了使树木更加真实,在画子树干的时候,可以进行参数改变、角度旋转、树干半径及长度的缩小等操作,使树枝变得不规则、粗糙和随意,更具有真实感。

3.3 粒子系统

粒子系统理论是由 Reeves 在 1983 年提出的一种用于模拟不规则的模糊物体的随机建模方法^[26]。其基本思想是采用大量的、具有一定生命和属性的微小粒子图元作为基本元素来描述不规则的模糊物体。在粒子系统中,每一个粒子图元均具有形状、大小、颜色、透明度、运动速度和运动方向、生命周期等属性,所有这些属性都是时间的函数,随着虚拟世界时间的流逝,根据约束的随机过程定义,每个粒子都有产生、发展、死亡的过程。

Reeves 和 Blau 首先提出利用粒子系统来对树和草进行建模^[7]。该方法由于是以粒子单元的扩展来构造物体的空间与时间上的发生形态,因此不太适合于表现个体植物细节的拓扑及形态,但它是迄今为止被认为模拟不规则模糊物体最为成功的一种图形生成算法,能宏观但极其生动地模拟森林、草丛一类自然景象。同其它描述不规则物体的方法相比,它具有以下 3 个显著的特点:(1)对物体的描述不是通过原始的具有边界的面片(如多边形)集合来描述,而是通过一组定义在空间的原始粒子来描述。(2)粒子系统不是一个静态实体,每个粒子的属性均是时间的函数。(3)由粒子系统描述物体不是预先定义好的,其形状和位置等属性均用随机过程来描述。Rodkaew 等人提出了一种新的运用粒子系统实现树结构自动建模的算法^[27],此算法来源于自然现象,树的树枝及树叶需要和根部进行水、能量和营养的传输与交换,树的结构需要适应最有效的传输。算法的思路是首先在给定的形状中随机分散粒子,每个粒子具有一定的能量,传输的规则是每个粒子都要达到目标点,最后结合在一起。粒子运动的轨迹即可重构出树的结构。算法只有少量参数,并取得很好的真实感。由于此算法的计算量相当大,并且建模生成的树结构严重依赖粒子的初始位置,因此,Neubert 等人提出基于图像,用粒子系统实现树的建模^[14],运用图像信息近似得到基于体素的树体空间,并根据体素亮度值确定粒子的初始位置,从而解决了 Rodkaew 算法的不足。

3.4 几何规则

Weber 和 Penn 使用了几何规则来实现树的建模^[9],在对树建模时,此方法主要关注的是场景模拟的要求,其中首要的要求是达到适当的分辨率和质量,此外是动态仿真的真实感要求,而并不要求体现植物本身的规律,在建模时只考虑用几何图形如圆锥、圆柱等进行树的建模。

在树的结构中,可以用类似于圆锥易弯曲的几何图形来构成主要树干。在某些树中,树干结构可能会沿着其长度分叉许多次,分叉的树枝有着类似的几何结构,可以用相似的几何图形表示,这即是对分叉树枝形式的描述,这些通过“复制”得到的几何图形属性非常接近于其孪生剩余部分,除非它们通过随机图形生成。分叉后,通过改变分叉角度来改变其弯曲方向。单轴树枝和树干的子树枝具有和其“父类”完全不同的属性,有些属性,比如说长度,定义成与其主干长度的比例。这些树枝,也同样具有子树枝,为了达到仿真分辨率的要求,递归的层数一般为 3 次或 4 次。首先绘制树干,而不是所有

层次的树枝,只有我们对树干的几何形状满意后,才绘制下一个层次的树枝,依次做下去,在三层和四层树枝的复杂度会增加。此时,得到树的总体结构和形状,最后绘制细微树枝和树叶,即可实现整棵树的建模。不同的树可以表现出不同的结构,这些形状通常是由树干上的主要树枝的长度和位置决定,例如圆锥形的树,在树干的根基部分的树枝比较大。另外,一些树枝由于光照和重力的影响,倾向于向垂直方向弯曲,向下或向上等。我们根据要绘制的树的结构可以分别定义不同的几何规则,实现树的建模。Lintermann 等人在此基础上提出把基于植物学知识以及 L-system、分形等算法与 xfrog 系统^[20]结合,取得了较好的效果,并方便用户进行树的建模。

4 基于草图的树建模

草图是一种跨语言、文化和时代的交流方式,也是一种设计表达的基本手段。草图在工业设计过程中,尤其是概念设计过程中有非常重要的地位,对于草图的研究是近年来设计领域的研究热点。对草图的研究综述可参考文献^[28,29]。

基于草图的建模非常直观、方便,根据我们对事物的直观理解,快速地勾画出其轮廓等特征,系统即可快速生成三维模型,符合人们对事物的理解方式。因而,基于草图的树建模成为了近年来的研究热点。Okabe 和 Igarashi 提出的系统^[10],从 2D 分枝结构草图中推导树的 3D 几何信息。Ijiri 等^[30]使用手势控制主干形状,主干具有递归定义的分枝结构。Zakaria 和 Shukri^[31]使用草图绘制初始的树结构,然后在树冠区域“喷洒”树叶面,树的分枝向树叶方向生长。Anastacio 等^[32]基于叶序模式使用概念草图进行 3D 植物布置。随后提出将概念草图转换为位置函数以作为 L-system 的输入,过程式生成最终的树结构^[33]。Chen 等人提出利用马尔可夫随机场来确定草图树枝的三维方向^[34]。Wither 等人提出了通过绘制二维树的边缘轮廓,根据轮廓生成三维几何树的草图建模树的新方法^[11]。本节介绍主要的两种基于草图的树建模方式。

4.1 基于树枝草图的建模

Okabe 等人最先提出了基于草图树的建模^[10],把草图设计的思想引入到树的建模上,使得树的建模非常方便直观,他们的系统是从二维树枝草图推导出三维几何树结构信息,实现树的建模。从二维树枝草图中创建三维树,其任务就是计算二维草图中树枝的深度信息,目标是使创建的三维树从各个角度看要具有相似性,保持跟草图一致。其基本策略是调整树枝的方向,以使得跟其它树枝之间的距离达到尽可能的最大。在此采用贪心算法,一根一根增加树枝,而不是去计算全局树枝最佳位置,这样的计算量相对较小。把所有树枝映射到水平面并构建二维的距离域,在此平面上计算树枝投影点之间的最大距离,由此找到在三维中最佳的树枝放置位置。生成的三维树在屏幕上的投影必须符合给定的二维树枝草图,但同时这意味着可以随意延长和屏幕垂直方向的树枝,也即是说距离域不可能阻止树枝超出给定的边缘轮廓(树枝有限长度值),为了防止这种情况的出现,根据绘制的草图二维凸包,简单地旋转一圈二维凸包,从树底部开始一直到顶部结束,生成三维壳。此时,三维树枝不能超出三维壳,保证各方上的树枝跟草图长度一致。由此思路生成的三维树,当从不同的方向看时,看到的效果是不一样的。为了解决此问题,假

设用户只画了向侧面扩展的树枝草图,要自动增加屏幕垂直方向的树枝,具体的做法是使生成的三维树旋转 90 度,再并入到三维树中生成新的树,这时的树在各个方向上看都是相似的,实现了基于树枝草图的三维几何树建模。Chen 等人提出利用马尔可夫随机场来实现基于树枝草图的树建模^[34],主要是利用马尔可夫随机场来确定草图树枝的三维方向。系统提供一个数据库,包含树的典型样本和全局参数,根据绘制的草图形状,选择最接近的样本,样本的全局参数作为三维几何重构的先验值,实现树的总体形状。但局部的树枝位置、方向及连接等由马尔可夫随机场来实现,最后用树的自相似性实现其余树枝和树叶的生成,实现树的建模。

4.2 基于轮廓边缘草图的建模

Wither 等人提出了通过绘制树的边缘轮廓草图,根据轮廓生成三维几何树的草图树建模的方法^[11],对于用户来说,绘制树的边缘轮廓草图比绘制树的每根树枝要简单快速并且直观,用户并不需要了解植物学知识,只需根据主观概念和印象绘出树的轮廓草图即可创建出三维树。主要的工作分为两部分,一是从树的轮廓草图推导出树的二维树枝结构,其次是根据树的二维树枝结构创建三维几何树。

当绘制出树的轮廓草图后,要做的工作是从轮廓草图推导出树的二维结构,目前的草图系统已经实现由草图轮廓推导出几何构架^[35],但树枝的几何形状与几何构架是有区别的,比如在给定的一个轮廓中,可能会有无限多种可能的二维树枝结构,这时要从众多的几何架构中选择最合理的树枝结构。首先是对草图的轮廓边缘进行分割并推导出主要的树枝,具体的工作是从轮廓草图中分割出树冠部分,并确定每个树冠的中心点,这通过计算轮廓的几何构架并利用相应的端点和切线即可确定。接下来,推断出可能树枝。子树枝与树干之间的夹角是由树枝角度函数来实现的,树枝间的夹角即树干的切线与树枝的切线在它们交叉点的夹角。由植物生长规律,在每个位置的树枝有相应夹角,再由每个树冠的端点与树干相连,应满足相应的夹角,即可推断出相应树枝。若需要进行局部的调整和修改,思路要一致,并保持相应风格。最后,从推导出的二维树枝结构生成三维树,实现树的建模。

5 基于图像的树建模

基于图像建模是指利用图像来恢复出物体的几何模型,这里的图像包括真实照片、绘制图像、视频图像以及深度图像等。传统的三维建模工具虽然日益改进,但构建稍显复杂的三维模型依旧是一件非常耗时费力的工作。考虑到我们要构建的很多三维模型都能在现实世界中找到或加以塑造,因此基于图像建模技术就成了人们心目中理想的建模方式;它又为生成具有照片级真实感的合成图像提供了一种自然的方式,因此它迅速成为目前计算机图形学领域中的研究热点。对基于图像的建模研究综述可参考文献^[36,37]。

与需要用户进行手工操作对树进行建模不同的是,基于图像的树建模直接由图像产生树的三维模型。基于图像的树建模的一个最大的好处是得到照片级高度真实感的树,因为它们依靠的是实际场景中的树的图像。此外,在建模过程中,可实现自动的树建模,不需要用户进行编辑。Shlyakter 提出由图像生成虚拟凸包,在凸包内运用基于 L-system 算法的树生长机制对树进行建模^[12],用这种方法生成的模型只能取得

近似效果和有限的真实感。Reche-Martinez 提出了完全是基于图像进行树的三维建模^[13],取得了较好的真实感,但需要大量的内存,并且他们的模型不易进行编辑。Neubert 提出了基于图像利用粒子系统来进行树的三维建模^[14],这种方法结合了基于图像的建模和基于粒子系统的建模,根据输入的图像,生成凸包并计算体素的亮度值,并根据亮度值估计粒子的初始位置,然后运用粒子系统实现树的建模。但生成的树枝结构与图像不可能完全具有相同的形状。Quan 等人提出了另外一种从图像重构三维植物的方法^[38],后来 Tan 等人对此方法进行了改进^[15,39],用于树的建模,并取得了较好的真实感。但是,系统要求大量的处理工作,比如树枝、树叶、背景的分割,用户需要对三维树枝进行修正。本节主要从对图像生成三维凸包然后进行树建模的方式以及由图像生成三维点云然后进行树建模的方式进行介绍。

5.1 基于虚拟凸包技术建模

利用虚拟凸包技术辅助建模过程是基于图像树建模的通用方法。Shlyakhter 定义凸包的中轴^[12],使得 L-system 适用于树枝的生成,Sakaguchi 在凸包运用简单的树枝规则来生成树枝^[40],他们的建模方法生成的树模型只能实现近似或有限的真实感。Reche-Martinez 通过计算透明度来表示凸包^[13],虽取得较好的真实感,但他们的模型不宜编辑和动画的实现。

实现基于图像的树建模,首先需要输入一定数量的需要建模树的图像,数量一般说来在 4 到 15 张,但至少包含树四周 135 度范围。建模的过程大概由三步构成。首先,实现图像的分割。把输入的每一张图像中树的前景和背景分割开,现在有许多能自动实现前景和背景分割的成熟算法。第二步是虚拟凸包重构。通过第一步,得到了原始照片中树的轮廓边缘,我们利用这些轮廓和每张图像的位置信息,计算出近似三维树网格形状。树的虚拟凸包与树的形状非常近似,虚拟凸包就是包含物体结构的对象,无论从哪个角度看物体都包含在凸包内,凸包的轮廓与对象是一致的,但是虚拟凸包不能捕获树形状的细节。第三步是重构出树可能的支架,树的支架为树的主干和初始的少数树枝。在这一步中,各种方法不一致,如 Shlyakhter 通过寻找树的虚拟凸包的中心轴线来重构树的支架,同时用 L-system 机制实现树的生长。Neubert 根据粒子系统的三维流模拟来生成树枝结构。在这一步中,要确保树的支架生长得到的结果要相似于输入的树,其次是要考虑树枝模式和树叶分布要符合植物本身的特性。

5.2 基于三维点云技术建模

Quan 等人提出基于图像的半自动化的植物的建模方法^[38],这种方法的一个显著的优点是得到了一个具有真实植物的复杂性和真实感形状。此系统包含 3 个部分,图像的获取和从运动中获取植物的三维结构,树叶的分割和恢复,交互式的树枝的重建。首先用普通的照相机从不同的角度对植物进行拍照,需要 30~45 张照片,利用标准的从运动获取结构的技术得到相机的参数和植物结构的三维点云。这些三维空间点用来描绘植物的形状,每一个点都与输入的图像相联系。下一步工作是对每片树叶的几何形状进行建模,利用空间三维点云和二维图像信息构造可交互的图来实现树叶的分割和重构。然后根据三维点云树枝结构对树枝进行编辑和调整,实现树的建模。

由于树有着数量众多的相互重叠的树叶,对每一片树叶进行建模并不实际。Tan 等提出根据图像自动完成树枝的建模^[15],而对于被树叶遮挡住的树枝运用基于样本的方法完成建模。对于树叶首先从输入的图像中进行树叶分割,经过过滤处理后直接映射到树枝上,实现对树的建模。系统实现分为树的图像的获取和三维点云的获取、树枝的重构以及树叶的生成。在图像的获取及生成树的三维点云时,只需要获取 10~20 张树的图像,覆盖的角度为 120~200 度。当相机的参数和三维点云提取后,接下来对树枝进行建模,首先是对可见的树枝进行建模,根据三维点云构造图,并把图转化为树枝。然后,根据局部相似性,重构被遮挡部分的树枝。最后是生成树叶,在生成树叶时,先对输入的图像进行背景的分离及树叶部分的分割,然后利用 Comaniciu 和 Meer 提出的平均转化过滤算法^[41]实现相似的区域分割及过滤,得到所需要的树叶纹理,并把树叶映射到树枝上,实现树的建模。

结束语 本文从计算机图形学的角度,全面总结目前在树建模领域所取得的主要研究成果,对树的建模技术分别从基于规则的建模技术、基于草图的建模技术、基于图像的建模技术 3 个方面进行了归纳和总结,对其中涉及的主要关键技术进行了深入的探讨,对典型的建模系统进行了分析比较。目前,许多树的建模技术已具有简单、快速、真实感强的特点,已经在实践中获得了广泛的应用。从目前的研究进展来看,尽管对树建模技术的研究已经取得了不少的研究成果,也提出了一些实际的应用系统,但由于在计算机图形学、虚拟现实和多媒体通信等领域中对复杂真实感模型的需求与日俱增,树建模技术在下述几个方面仍然是今后研究的热点和难点问题,需要进一步深入研究。

1) 根据树生长规律和环境影响的树建模技术一直是人们追求的目标,如何能达到最佳效果。如最近,Patubicki 等人提出了基于生物学自组织具有真实感树的建模^[16]。在计算机图形学大致分为两类建模方式,一类是根据几何进行树的生长建模,一类是在特定环境中根据树的外表和行为进行建模。虽然,在现实中树的生长过程是统一的,但在树的生长不同阶段,表现出的形式和状态是不同的,不同树之间的生长过程更是不相同。而且,树的生长还受到环境的影响,同种树在不同的环境下的生长过程和外在的表现是不同的。从树的建模技术出现到现在,如文中所述,已有不少的建模技术考虑到树的生长规律和环境的影响,但有一个共同点,就是要求用户必须了解植物学,并掌握所建模树的特性,同时,在建模过程要调解大量参数以达到真实的效果。怎样实现在树建模过程中用户不需要了解植物学知识,同时方便、快速实现不同的树建模,且建好的树模型要很好地反映出树本身的特性和环境的影响,这将是今后长时期的研究方向。

2) 交互式的树建模,虽然,现在人们在追求简单、高度真实感的树建模,如基于图像的树建模,但在许多场合和应用中,用户会有不同的需求,我们的建模技术不可能把所有应用情况都考虑到,此时,只能随用户的需要而改变。目前的树建模技术如基于草图的树建模以及其它的许多树建模技术,都需要和用户进行交互,实现用户满意模型。在交互式的树建模中,用户只需要简单操作,即可得到满意的树模型。如基于草图的树建模,用户只需简单地勾划即可生成三维树模型,但怎样保证这就是用户满意的模型也将是今后的研究方向。

3)简单、快速地自动实现高度真实感树的建模。文中已介绍了基于规则的树建模、基于草图的树建模、基于图像的树建模,在真实感方面均已经取得了很好的效果,能够满足虚拟实现和多媒体的要求。但如何使得用户只需简单建模,就可实现高度真实感。如 Quan 和 Tan 等人提出的从图像重构三维植物的方法^[15,38],虽然取得高度真实感,但需要对实际树采集许多图像,而且要求覆盖一定的范围,建模的处理过程也极为复杂,如何简化,就可获得高质量的树模型,这也会成为今后关注的方向。

4)动态场景下树的建模。在对树的外表和行为进行建模时,就得考虑场景的影响。在动态场景下,对树的建模考虑的因素就会增多,如在树的显示和动画中,光照和阴影技术以及相应的模拟方法都要被考虑。如最近 Habel 提出对风中树的实时性和真实感建模^[42],这时要考虑到树枝和树叶的形变的影响,对建模提出更高的要求。动态场景下树的建模也会是今后持续关注方向。

参考文献

- [1] Visser P D, Marcelis L, Heijden G V, et al. 3 D modeling of plants:a review[R]. Report of the virtual plant network Wageningen,2002
- [2] 毛卫强,潘云鹤.植物三维建模方法综述[J]. 计算机科学,2000, 27(6):35-37
- [3] Lindenmayer A. Mathematical Models for Cellular Interactions in Development I&II [J]. Journal of Theoretical Biology,1968; 280-315
- [4] Prusinkiewicz P, Lindenmayer A. The Algorithmic Beauty of Plants [M]. New York:Springer-Verlag,1990
- [5] Honda H. Description of the Form of Trees by the Parameters of the Tree-like Body: Effects of the Branching Angle and the Branch Length on the Shape of the Tree-like Body [J]. Journal of Theoretical Biology,1971;331-338
- [6] Oppenheimer P. Real time design and animation of fractal plants and trees [J]. Computer Graphics (SIGGRAPH '86 Conf. Proc.),1986,20:55-64
- [7] Reeves W,Blau R. Approximate and probabilistic algorithms for shading and rendering structured particle systems [J]. Computer Graphics(SIGGRAPH '85 Conf. Proc.),1985,19:313-322
- [8] De Reffye P,Edelin C,Francon J, et al. Plant models faithful to botanical structure and development [J]. Computer Graphics (SIGGRAPH '88 Conf. Proc.),1988,22:151-158
- [9] Weber J,Penn J. Creation and rendering of realistic trees [J]. Proceedings of SIGGRAPH '95,1995:119-128
- [10] Okabe M, Owada S, Igarashi. Interactive design of botanical trees using freehand sketches and example-based editing [J]. Computer Graphics Forum,Proceedings of Eurographics,2005, 24(3):487-496
- [11] Wither J,Boudon F,Cani M-P, et al. Structure from silhouettes: a new paradigm for fast sketch-based design of trees [J]. Computer Graphics Forum, Proceedings of Eurographics,2009, 28 (2):541-550
- [12] Shlyakhter I,Rozenoer M,Dorsey J, et al. Reconstructing 3D tree models from instrumented photographs [J]. IEEE Computer Graphics and Applications,2001:53-61
- [13] Reche-Martinez A, Martin I, Drettakis G. Volumetric reconstruction and interactive rendering of trees from photographs [J]. ACM Trans. on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH '04),2004,23(3):720-727
- [14] Neubert B, Franken T, Deussen O. Approximate image-based tree modeling using particle flows [J]. ACM Transactions on Graphics(Proceedings of SIGGRAPH '07),2007,26(3):88
- [15] Tan P,Zeng G, Wang J, et al. Image-based tree modeling [J]. ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH '07),2007,26(3):87
- [16] Palubicki W, Horel K, Longay S, et al. Self-organizing tree models for image synthesis [J]. ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH '09),2009,28(3)
- [17] Ulam S. Pattern of growth of figures; mathematical aspects[M]. Module,Proportion,Symmetry,Rhythm,G. Keps,eds. Braziller, 1966:64-74
- [18] Prusinkiewicz P, Hammel M, Hanan J, et al. L-systems; from the theory to visual models of plants [J]. Machine Graphics and Vision,1996;365-392
- [19] Holton M. Strands, gravity and botanical tree imagery [J]. Computer Graphics Forum,1994,13(1):57-67
- [20] Lintermann B, Deussen O. Interactive modeling of plants [J]. IEEE Computer Graphics and Applications,1999,19(1):56-65
- [21] Frijters D, Lindenmayer A. A model for the growth and flowering of *Aster novae-angliae* on the basis of table(1,0) L-systems [J]. Lecture Notes in Computer Science,1974,15:24-52
- [22] Aono M, Kunii T. Botanical Tree Image Generation [J]. IEEE Computer Graphics and Applications,1984,4(5):10-34
- [23] Mech R, Prusinkiewicz P. Visual Models of Plants Interacting with Their Environment [J]. Proceedings of SIGGRAPH '96, 1996:397-410
- [24] Mandelbrot B. The Fractal Geometry of Nature [M]. San Francisco:W. H. Freeman and Co,1982
- [25] Barnale M F. Harnessing chaos for image synthesis [J]. Computer Graphics,1988,22(4):131-140
- [26] Reeves W T. Particle systems-A technique for modeling a class of fuzzy objects [J]. Computer Graphics(SIGGRAPH'83 Conf. Proc.),1983,17(3):359-376
- [27] Rodkaew Y, Chongstitvatana P, Siripant S, et al. Particle systems for plant modeling [J]. Plant Growth Modeling and Applications,2003:210-217
- [28] Olsen L, Samavati F F, Sousa M C, et al. Sketch-Based Modeling: A Survey [J]. Computer & Graphics,2009,33:85-103
- [29] 孙正兴,冯桂焕,周若鸿. 基于草图的人机交互技术研究进展 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2005,17(9):1889-1899
- [30] Ijiri T, Owada S, Igarashi T. The sketch L-system; global control of tree modeling using free-form strokes [C]//Proceedings of smart graphics'06. Lecture notes on computer science,2006, 4073:138-146
- [31] Zakaria M, Shukri S. A sketch-and-spray interface for modeling trees [C]//Proceedings of Smart Graphics '07. Lecture notes on computer science,2007,4569:23-35
- [32] Anastacio F,Sousa M C, Samavati F, et al. Modeling plant structures using concept sketches [C]//Proceedings of 4th international symposium on non-photorealistic animation and rendering (NPAR '06). 2006
- [33] Anastacio F, Prusinkiewicz P, Sousa M C. Sketch-based parameterization of l-systems using illustration inspired construction lines [C] // Proceedings of 5th eurographics workshop on sketch-based interfaces and modeling(SBIM '08). 2008

BC。SE 类组件用于业务逻辑的控制;BC 组件则用于将外部应用系统连接进来,亦称之为适配器类组件。目前实现的 SE 类组件主要包括 XSLT 数据转换组件等。适配器主要包括主流数据库适配器等。

NpuESB 提供可视化的开发工具和丰富的预置组件,即使是非专业的用户也能够基于 NpuESB 开发多种 BPM 应用。我们在西安高新区数字园区的多个企业进行了包括数据集成、EAI 应用与 B2B 应用的多项试验。其中如图 5 所示的异构数据源的数据集成是基于 NpuESB 的一个典型应用。在这种应用场景中,多个 DBOut 适配器被配置成从不同物理位置的异构数据库系统中抽取数据,经过 XSLT 组件转换为统一的数据格式,并最终通过 DBIn 适配器写入数据中心。在原型系统实验中,非专业用户使用 PO 工具进行快速的应用开发,顺利地进行了应用的部署和管理工作。这些相关实验表明,NpuESB 达到了预期的设计目标。

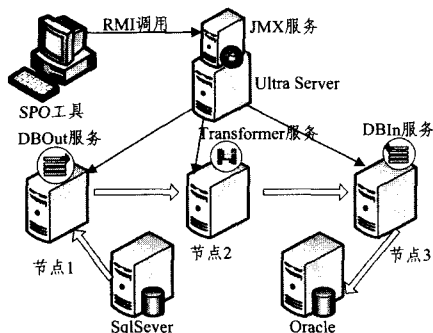


图 5 数据集成场景

与传统的 EAI 技术比较,NpuESB 具有如下的特点和优势:NpuESB 是基于服务计算的 BPM 环境,因此具有更好的灵活性和可复用性;NpuESB 遵循 JBI 标准,使得系统具有良好的兼容性和可扩展性,能够为多种技术和遗留系统提供支持;NpuESB 支持以流程编排的方式快速构建新的应用,提高了应用系统集成的开发速度;NpuESB 通过引入中央服务器实现了对 ESB 环境的集中管理,通过提供可视化的 ESB 和流程管理工具方便了用户的使用。

8 相关工作

在服务集成环境的研究方面,文献[6,7]提出了各自的服务组合环境和互操作方法,其中 Self-Serv^[6]是一个面向动态的网络环境的敏捷 Web service 组合软件环境。在流程建模

方面,Self-Serv 基于状态图,而 NpuESB 采用的是理论更完备的进程代数方法。从应用目标角度看,本文是研究构建的面向 EAI 和 B2B 应用的软件平台,着重考虑以服务的方式对遗留应用系统进行集成,不局限于对 Web service 进行组合。另外,本文的工作是基于开放的 JBI 规范,这使得 NpuESB 具有更好的开放性和适应能力。基于 ESB 面向具体的应用目标构建特定的应用系统已有较多研究。本文与这些工作的区别之处是致力于构建一个通用性较强的 BPM 软件平台。

结束语 本文从系统的角度研究了一种基于 ESB 的 BPM 平台 NpuESB 的设计与实现。在设计符合 JBI 规范的分布式企业服务总线技术的基础上,提出分层体系结构的 BPM 平台设计方案。提出了基于 Pi 演算对 ESB 环境下的流程进行建模描述的方法,并通过引入中央服务器和流程管理模块的方法实现了 ESB 环境和流程的集中管理。提出了符合 JBI 规范的分布式 ESB 的设计方案。设计了可视化的流程管理工具和 ESB 管理工具。原型系统的应用试验表明,本设计方案有效。与传统的 EAI 技术和工具进行了比较,结果表明 NpuESB 具有更强的灵活性和可扩展性,能够兼容多种应用系统开发技术,有效降低 EAI 应用的开发和维护成本。

参考文献

- [1] Chappell D A. Enterprise Service Bus[M]. Sebastopol: O'Reilly Publishing, 2004
- [2] Sun Microsystems Inc. Java Business Integration (JBI) 1.0[S]. 2005
- [3] 符宁,周兴社,张海辉. 基于 JMS 的分布式 ESB 的设计与实现[J]. 计算机科学, 2007, 34(12): 118-121
- [4] Milner R. A calculus of mobile processes part I/II[J]. Journal of Information and Computation, 1992, 100(01): 1-77
- [5] Victor B, Moller F. The mobility workbench: A tool for the pi calculus[A] // Proceedings of the 6th International Conference on Computer Aided Verification[C]. California: Springer-Verlag, 1994: 428-440
- [6] Benatallah B, Dumas M, Sheng Q Z, et al. Declarative Composition and Peer-to-Peer Provisioning of Dynamic Web Services[C] // 18th International Conference on Data Engineering 2002, San Jose, CA, USA, 2002: 297-308
- [7] 胡春明, 怀进鹏, 孙海龙. 基于 Web 服务的网格体系结构及其支撑环境研究[J]. 软件学报, 2004(15): 1064-1072

(上接第 22 页)

- [34] Chen X, Neubert B, Xu Y Q, et al. Sketch-based Tree Modeling Using Markov Random Field [J]. ACM Transactions on Graphics(Proceedings of SIGGRAPH Asia '08), 2008, 27(5)
- [35] Igarashi I, Matsuoka S, Tanaka H. Teddy: a sketching interface for 3d freeform design [J]. Proceedings of SIGGRAPH '99, 1999: 409-416
- [36] Shum H, Kang S. A review of image-based rendering techniques [C] // Proceedings of IEEE/SPIE Visual Communications and Image Processing. Perth, Australia, 2000: 2-13
- [37] 刘钢, 彭群生, 鲍虎军. 基于图像建模技术研究综述与展望[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(1): 18-27
- [38] Quan L, Tan P, Zeng G, et al. Image-based plant modeling [J].

ACM Transactions on Graphics(Proceedings of SIGGRAPH '06), 2006, 25(3): 772-778

- [39] Tan P, Fang T, Xiao J, et al. Single image tree modeling [J]. ACM Transactions on Graphics(Proceedings of SIGGRAPH Asia '08), 2008, 27(5)
- [40] Sakaguchi T. Botanical tree structure modeling based on real image set [C] // ACM SIGGRAPH 1998(Tech. Sketch): 272
- [41] Comaniciu D, Meer P. Mean shift: A robust approach toward feature space analysis [J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(5): 603-619
- [42] Habel R, Kusternig A, Wimmer M. Physically Guided Animation of Trees [J]. Computer Graphics Forum, Proceedings of Eurographics, 2009, 28(2)