

文章编号: 1007-4619 (2002) 03-0188-05

树模型的三维可视化研究

孙敏¹, 马蔼乃¹, 薛勇²

(1. 北京大学 遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871;

2. 中国科学院 遥感应用研究所遥感信息科学重点实验室, 北京 100101)

摘要: 树的表达无论是在 3D GIS, VRGIS 还是在 3DCM 中, 都是一个难点问题。与一般实体对象不同的是, 树明显具有分形空间特征, 因此用常规简单的建模方法很难表达一颗树。现在分形算法常用来生成树模型, 具有逼真的可视效果, 但所产生的数据量对于 GIS 环境来说太大, 可视化困难; 另外, 用树的图像替代树模型也是一种常用的方法, 但在近视点视觉效果差, 同时也没有表达出树木所固有的空间特性。本文作者提出一种方法, 使用 LOD 技术, 将树的分形模型与其图像替代模型两者结合起来, 初步解决树模型在 GIS 中的可视化问题, 可达到逼真、高速的可视效果。

关键词: 树模型; 可视化; 3D GIS

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

1 引言

三维地理信息系统(3D GIS)、虚拟地理信息系统(VRGIS)和三维城市模型(3DCM)等相关研究方向, 近年来一直是 GIS 领域内处于国际前沿的研究热点。其中一个重要的问题, 同时也是 3D GIS, VRGIS 是 3DCM 等系统所具有的一个重要特点, 就是需要对现实环境进行逼真的描述和表达。因而, 可视化在这些领域内是一个十分重要的研究内容。在现有 GIS 中, 对现实环境对象, 特别是建筑物对象的表达比较理想, 但对植物包括树木在内的一系列对象的表达一直是一个难点问题。原因在于: 首先, 植物形体的特殊性使得分形算法生成的模型(矢量模型)需要大量的数据, 不仅计算复杂, 而且效率低, 可视化困难, 特别在需要表达大批量的植物时这种问题更加突出; 其次, 使用图像的方式(在本文我们称其为栅格方式, 意为用树的图像表达树), 在近视点往往效果不够理想, 同时这种方式难以表达植物的真实形体, 对 GIS 来说, 不能满足其表达现实对象逼真性和准确性的要求。

树木在自然景观中起着十分重要的地位, 特别是在城市环境中, 对树木的表达更是必不可少。在

建模方面, 树木模型由于分形的产生, 人们早就进行了大量研究, 目前最佳的树木模型就是利用分形算法生成的^[1]。在林业领域对树木模型的研究也很广泛, 但林业领域研究树木模型的目的是为了研究树木的生成发育, 与 GIS 中树木模型的研究目的迥然不同, 在 GIS 中强调的是其空间特征与景观属性。为了在 GIS 中较好地实现树木模型的高速可视化, 同时达到逼真的可视效果, 本文提出一种矢栅结合的方法, 该方法有以下几方面的优点:

(1) 兼顾了矢量模型的逼真特点和栅格模型的简单特点, 具有较好的可视效果;

(2) 对每个树模型能按屏幕上投影的像素大小, 自动切换其 LOD(Level of Detail), 具有较高的可视化速度;

(3) 为使动画过程具有相对平稳的帧速率, 也可以控制 LOD 层次选择。

2 研究现状

在 GIS 领域, 前人也做过相当一部分有关树模型的研究工作, 但很少有工作将栅格方式与矢量方式加以结合, 要么是纯栅格方式, 要么是纯矢量方式, 目前人们广泛采用的是栅格方式。如图版 I 图

收稿日期: 2000-12-11; 修订日期: 2001-01-15

基金项目: 中国科学院“百人计划”项目资助, 中国科学院知识创新工程“数字地球基础理论问题研究”项目资助(KZCX2-312)

作者简介: 孙敏(1968—)男, 2000 年于中南大学获博士学位, 现为北京大学遥感与地理信息系统研究所博士后研究人员, 主要从事三维城市模型及三维图像方面的研究工作, 已发表学术论文 10 多篇。

1 为 Toronto 大学景观研究中心构造的数学建筑物模型^[2], 图中对树木的表达采用了图像的方式。这种方式简单, 且具有较高的观赏性, 在处理数字建筑物图片, 或用于艺术家作图时, 效果比较理想。由于其实质是在一个空间长方形区域通过融合方式粘贴树木图像, 因此这种方法处理的结果是将具有三维空间复杂特性的树木对象用一个空间长方形替代, 树木只有一定的空间位置, 而失去了其它空间特性。ArcView 3DX 是 EXRI 公司的一个三维 GIS 模块, 它曾采用过如图 2 的简单矢量树木模型^[3], 显然这种模型效果很不理想。Gruen A. 等人开发过一种称之为 CC-Modeler 的三维交互式建模系统, 利用该系统他们建立了一些城市景观模型^[4]。在他们的研究中对树木采用了实体型的矢量模型, 即将一个树木作为一个实心体来处理(图 3), 虽然这种处理方式简单, 而且也具有粗略的植物形体, 但对于景观而言, 真实性较差。

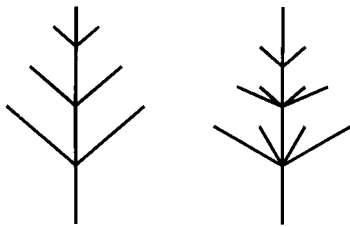
图 2 三维树模型^[3]

Fig.2 3D Tree Model

图 3 实体树模型^[4]

Fig.3 Solid Tree Model

在 VR (Virtual Reality) 领域, 目前对于植物模型的处理, 典型的方式就是使用分形算法生成的植物模型, 这是由于 VR 系统一般建立于较好的硬件平台之上, 具有对大批量数据实时可视化的能力。近年来随着 VR 技术的飞速发展, 在三维建模方面现在出现了一些专业的建模软件和模型销售公司。他们主要提供与 3DSMax 和 AutoCAD 兼容的数据格式, 这些公司有如: Onyx, TreeDesigner, Viewpoint, ViewScape 以及 3Dnature 等公司。如图 4 为 3Dnature 公司利用分形算法开发的专业软件所建立的一个树木模型, 其效果相当逼真^[5]。



图 4 分形构造的树木模型

Fig.4 Tree Model constructed by fractal

由于分形可以构造比较完美的树木模型, 同时栅格图像又能以较少的数据和较简单的处理方式得到较好的效果, 因此很有必要将这两种方式结合起来。以此为出发点, 我们做了一些探讨些工作, 下面对我们所做的一些工作做较详细的叙述。

3 矢栅结合的建模方案

3.1 利用分形算法生成的树木模型

在欧氏三维空间中, 如果把分形看成是一系列规则与操作的集合, 尽管有些简单化, 但足以说明利用分形构建树木模型的原理。Lindenmayer 提出的 L 系统是构造植物模型的经典理论, 该系统可以简单地看成是由一系列规则与操作组成的集合, 由于规则之间以及操作之间没有任何相互关系, 因此基于某条规则与某条操作所生产的图形相互之间不存在任何拓扑关联, 所以基于 L 系统所构造的树木模型其实质是一系列几何要素(包括点与线)的集合。这方面与人机交互方式下利用 AutoCAD 和 3DSMax 建立的三维模型是一致的, 因此在 GIS 中, 这样的数据集不易对其进行必要的空间操作与分析。要对基于分形算法生成的树木模型进行空间操作与分析, 对于目前的数据结构仍是一个挑战性问题, 本文作者限于水平, 暂不讨论这个问题。

鉴于以上原因, 在本文作者的研究过程中, 权且将这种树木模型看成是一系列图形要素组成的集合, 在数据库的管理中将其使用大二进制加以管理。

3.2 利用多分辨率影像表达的树木模型

前文提到, 影像表达的树木模型其实质是空间平面矩形上的一个贴图。这种贴图在稍远距离具有较好的视觉效果, 随视点远近不同的变化, 所需表达树木的影像分辨率则应有所不同, 这样在视觉上产生一个渐进的清晰度的同时, 可在可视化过程中减

少不必要的冗余。图版 I 图 5 即为我们利用多分辨率影像表达的树木模型构建的一个三维场景，其效果相对比较理想。

3.3 矢栅结合的建模方案

由图版 I 图 1、图 4、图版 I 图 5 和图版 I 图 6 可以看出，在近距离分形的树木模型和在远距离图像的树木模型均具有较好的效果，现在我们考虑如何将两者结合起来。由于分形模型的数据量很大，不易进行操作，我们仅用一个长方体轮廓对分形树模型进行平移、旋转以及缩放等操作(图版 I 图 6)。如何将两者结合在一起，下面我们提出具体的解决方案，写出矢栅结合的模型描述如下：

Class Tree

{

ATTRIBUTE:

CBitmap; m - BmpLOD1, m - BmpLOD2, m - BmpLOD3; (多分辨率树图像)

Int m - Hight, m - wide, m - Length;

(对应于空间操作区域)

Float m - position(x, y, z); (对应于树的平面位置,以树根部为准)

CBOLB: m - Tree - fractal; (分形模型数据)

Other attributes...(其它属性)

OPERATION:

Translate - Tree();

Rotate - Tree();

Scale - Tree();

Read - Bmp(int Lod);

Read - BLOB();

Other operation...

}

图 7 所示框图为该模型的一个简要说明。为了与 LOD 层次相匹配，栅格图像需要存贮多个分辨率，包括分形模型均作为树对象的属性值加以管理。图像、空间长方体区域以及树的平面位置构成了树的栅格模型；分形模型与空间操作区域构成了树的矢量模型。树木的精确平面位置，由一个三维空间点表示。这些值可以作为树模型的空间数据，当然也可以作为属性值。为了对树木对象及其属性值进行操作，需添加一些函数，如读取树木图像及大二进制模型值，对树木模型进行平移、旋转、缩放等等。除此之外，还可以有其它重要操作函数。下面我们着重讨论

如何使这样一个模型实现理想的可视效果。

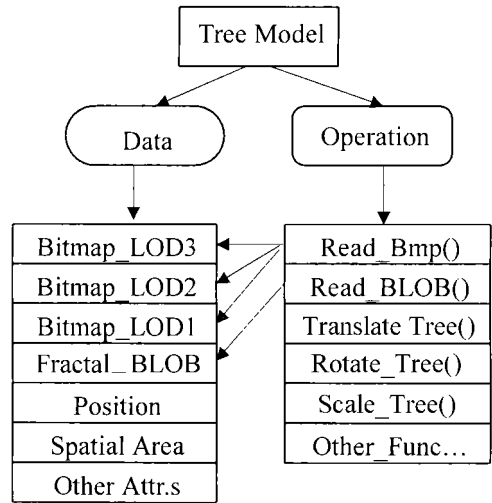


图 7 矢栅结合的树木模型

Fig.7 Tree model expressed by raster and vector

4 树木模型的三维可视化

4.1 LOD 层次划分

欲逼真地表达树木，栅格方式在远视点其效果与分形模型基本是一致的，图版 I 图 1 中的树木模型可以体现这一点，人们在该图中几乎分辨不出树木的表达仅仅利用了图像。考虑到数据量的精简，不同的视点使用不同分辨率的图像，为了提高表达的真实度，在近距离则使用真三维分形模型。具体而言，我们有如下可视化策略：

(1) 对于树木生长特别密集的情况，在很远视点距离时，可采用对地表面状区域粘贴纹理的方法，即此时我们具体不采用任何树木模型，而是使用地面纹理，比如使用航空影像，这种情况作为 LOD1；

(2) 在远距离，树木起伏感可见的时候，无论是稀疏树木，还是成片的树木，均需要使用最低分辨率的树木图像进行表达，此时为 LOD2；

(3) 在近距离，树的轮廓明显时，则需要使用较高分辨率的图像进行表达，此时为 LOD3；

(4) 在很近的距离，树枝已经明显时，则需使用最高分辨率图像进行表达，此时为 LOD4；

(5) 在眼前，树叶已经明显时，则需要使用分形模型进行表达，由于进入到眼前视野的树木一般只有很少数颗，也即所需绘制的分形模型很少，因此不会造成数据量突然剧增的情况，此时为 LOD5。

显然，上面的划分没有一个明显的、绝对的界限，所使用的标准仅仅是控制 LOD 在视觉上不会因

为模型的切换产生明显的抖动。如图版 I 图 8 为 3 个 LOD 层次的树木模型效果比较。

4.2 算法原理与算法框架

图 9 为三维透视投影原理,由模型描述的三维

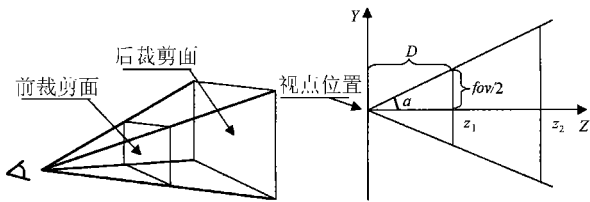


图 9 三维透视投影示意图

Fig.9 3D perspective view illustration

对象被放在两个裁剪面之间,前裁剪面可以看作成计算机屏幕(D 表示视点 to 屏幕的距离, $z_1 z_2$ 分别表示视点到前后裁剪面的距离),所有三维模型需要投影到这个面上,LOD 层次的选取由模型投影到这个面上的像素大小决定。图 10 所示, e 为观察点, a

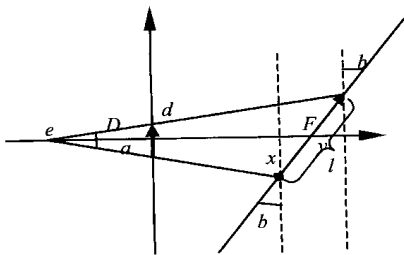


图 10 对象投影大小的计算

Fig.10 Calculate size of object's projection

为视角, d 为对象在二维平面上的投影,可由像素数表示, D 为观察点到前裁剪面的距离, F 为模型所处的空间位置, l 为其真实高度, b 为模型因观察点和视点变化引起的对象在垂直方向的倾角。则 d 的大小可由如下计算求得:

$$x = \cos b \times l/2$$

$$y = \sin b \times l/2$$

$$d = 4DFl \cos b / (4F^2 - l^2 \sin^2 b)$$

由于 b 因观察点视角的变化引起,可以用观察方向与 Z 轴的夹角替代,这样通过观察角度、模型高度及其所处空间位置即可求出其在屏幕上投影的大小 d ,由此可以控制 LOD 层次的选择。对应于 5 个 LOD 层次则需确定 5 个 d 值: $d_1 < d_2 < d_3 < d_4 < d_5$,由下列条件判断式控制 LOD 的选取:

```

if  $d \leq d_1$  then use LOD5
else if  $d_1 < d \leq d_2$  then use LOD4
else if  $d_2 < d \leq d_3$  then use LOD3

```

```

else if  $d_3 < d \leq d_4$  then use LOD2
else if  $d_4 < d \leq d_5$  then use LOD1

```

当距离 $d > d_5$ 时,可以认为对象不可见而不予考虑。

三维可视化一般需要尽量控制每帧绘制的多边形数目,对于配置较好的微机来说,可控制每帧绘制的三角形数目不超过 10 000 个。在增强模型可视效果的同时,还需控制光照以及纹理数据,对于整个可视化过程,可采图 11 可视化过程框架。

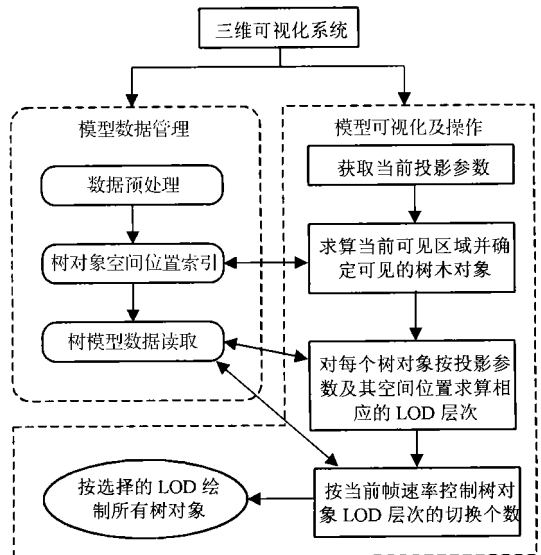


图 11 三维树模型可视化过程框图

Fig.11 Diagram of 3D tree visualization process

(1) 确定视点所见的三维区域,即如图 9 所示两裁剪面所夹的部分;尽管三维场景范围可能很大,但可视化只绘制观察点所见部分;

(2) 确定位于视点可见区域内的树木对象;

(3) 对每颗树按其空间位置,结合视点位置求其投影后像素的大小,然后按前述判断条件确定其绘制的 LOD 层次;

(4) 读入相应 LOD 层次的数据进行模型绘制;

(5) 在 LOD 层次切换时,需要对帧速率进行控制;由于从图像模型绘制切换到分形模型绘制时,会造成数据量突然加大的情况,因此对需要切换 LOD 的树木模型的数据量进行控制,例如可控制使每帧切换到分形模型的树木对象只有两个,这样可以确定每帧所绘的三角形数目不能增加过多,从而使动画连续平稳。

5 实验

基于上述思想,我们在自己原有的三维城市模

型系统基础之上,添加了一系列树模型,树的图像采用了三种分辨率。树的分形模型由 3DSMax 经过一定的编辑后,使用专用转换工具转入到系统中。系统采用 VC6.0 和 OpenGL 图形库结合开发,运行平台为 Win2000,系统主要硬件配置为:128M RAM, CPU PIII 667MHz, 32MTNT 显卡。对于图版 I 图 12 的三维城市模型场景,当只有两颗具有 1000 个多边形的树木模型处于 LOD5 层次时,帧速率可达 40fps,当同样的树木分形模型增加到 5 颗时,帧速率还可达 20fps。因为 20fps 为电视的帧速率,所以 20fps 以上的刷新速度对人眼来说均是平稳流畅的。随着分形模型数量的增加,帧速率会随之有所下降,为此目前算法中在 LOD 切换时,对可视的树木分形模型数作了限制。

图版 I 图 12 为实验系统所构造的一个三维场景,图中其它树木均使用了不同分辨率的图像表达,只有最右边处于眼前视点的一颗松树使用了分形模型表达。

6 结论与讨论

现实环境中,树木构成了自然景观的重要部分,

不仅如此,树木在环保、林业以及生态等方面有着重要的意义,因此无论是 3D GIS, VRGIS, 还是 3DCM,对树木的表达应该是必不可少的。但树木由于其自然生长的复杂性,其模型的表达是一个难点问题,作者通过查阅相关的中外文献,同时结合大量的实践工作,在本文提出了栅格与矢量结合的建模方案,并对基于此方案对树木的三维可视化进行了较详细的叙述,该方法能达到比较理想的效果。但这部分工作还有待做大量的深入研究,进一步工作,研究基于树木特性及其形体的空间分析、空间查询等内容。

参 考 文 献 (References)

- [1] Qi Dongxu-Fractal and its Production Using Computer [M]. Beijing: Science Press, 1994. [齐东旭.分形及其计算机生成[M].北京:科学出版社,1994.]
- [2] Bosselmann P, et al-Urban Form and Climate Case Study [R].http://clr.Toronto.edu, 2000.
- [3] Pilouk M, Petrovic D et al-Development of the ArcView 3D Analyst Extension [A] ISPRS, Vol.32, Part3-4W2, 3D Reconstruction and Modeling of Topographic Objects, Stuttgart [C]. 1997.
- [4] Gruen A, Xinhua W-creation of a 3D City Model of Zurich with CC-Modeler [R].Photogrammetric Week '98[C].1998.
- [5] 3D Nature Ltd.http://www.3Dnature.com/treedruid.htm, 2000.

3D Visualization of Tree Model

SUN Min¹, MA Ai-nai¹, XUE Yong²

(1. The Institute of RS & GIS of Peking University, 100871; 2. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The 3-dimensional visualization of a tree model is a difficult problem, especially in GIS field. Spatial characters of trees have great differences from common objects. It has clear fractal character, and it's difficult to establish data model using common modeling methods. Now, fractal theory is in use widely, and it could produce vivid effect. However, the data amount is very large for 3-dimensional visualization in GIS. Tree image is used more widely than that of tree model, but in the near viewpoint, tree image would have a bad effect because the essential characteristics of a tree are ignored in this way. In this paper, the advantages of the modeling and Level of Detail (LOD) technology have been used.

Our modeling scheme is to use a tree 3D model produced from fractal algorithms. This model is managed by BLOB type in database because it is difficult to do spatial analysis using fractal model. One cuboid could envelope a tree model in spatial analysis process and in visualization process. Tree fractal model could only be used in very near viewpoint. Multi-solution tree images are used to express trees in different view distances. These images are also managed using BLOB data types in database. Same cuboid in fractal model is also used in spatial analysis. Fractal tree model and multi-solution tree images are combined by a fix LOD division in visualization process according to system design or user selection. LOD division is referred to view distance and tree images solution.

At the end of the paper, our experiment system is introduced. It shows that our method could be used to solve 3-dimensional visualization in city environment in tree model, and have a good effect.

Key word: 3-Dimensional visualization; tree model; 3D GIS