

基于动态 LOD 四叉树算法的虚拟地形可视化^①

王玉琨, 朱永丽

(河南理工大学 计算机科学与技术学院, 焦作 454000)

摘 要: 在前人的基础上, 改进了基于四叉树的 LOD 模型, 通过建立节点判断准则来决定当前视区的细节程度. 同时也提出了一种新的裂缝消除方法, 即当视点 to 节点中心距离较远时看到的细节较少, 裂缝消除可通过缩减边的方式实现; 而当距离较近时需要观察到的细节较多, 通过剖分方式实现可使细节变得更丰富, 这样就可以在增强简化效果的同时提高实时渲染的速度.

关键词: LOD; 多分辨率; 四叉树; 节点判断准则

Three-Dimensional Terrain Visualization Based on Dynamic LOD Quad-Tree Algorithm

WANG Yu-Kun, ZHU Yong-Li

(Institute of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: The LOD model based on quad-trees is improved on the basis of former researches. This model is applied to manage and organize terrain data. Node judgment rule is established to determine the detail degree of the present visual area. A new bidirectional way was given to recover the cracks according to distance. By programming, this method is proved to be able to generate multi-resolution terrain model continuously, improve the efficiency of terrain navigation, and realize smooth transition of the models with different resolution.

Key words: LOD; multi-resolution; Quad-Tree; node evaluation criteria

虚拟现实技术是二十世纪末才兴起的一门崭新的综合性信息技术, 它融合了数字图像处理、计算机图形学、多媒体技术、传感器技术等多个信息技术分支, 并且可以逼真地模拟人在自然环境中的视觉、听觉、触觉及运动等行为的人机交互技术, 其应用领域和交叉领域非常广泛^[1]. 然而考虑到虚拟现实和交互式可视化等交互式图形应用系统要求图形生成速度达到实时(尤其是大规模的场景绘制), 而计算机提供的计算能力往往不能满足复杂三维场景的实时绘制要求, 因此研究人员从软件着手(减少图形画面的复杂度)提出了多种图形生成加速方法. LOD 模型就是在虚拟现实技术中经常被采用的一种加快图形生成速度的主要方法, 它在考虑人的视觉特性的前提下为场景及其物体分配不同的分辨率来简化显示. 而地形场景四叉树表示的优点是矩形分裂相对规则, 可以在与地形数据对

应的数组上进行计算, 但其裂缝消除相对复杂. 因此本文使用四叉树结构构造地形模型, 并用改进的算法消除绘制渲染过程中产生的裂缝.

1 LOD 技术

在运用虚拟现实技术对大规模场景绘制时, 常见的做法是用大量的三角面片来描述场景中的几何模型, 随着描述场景的三角面片的数目增多, 所绘制的图像质量会越来越高, 但是绘制速度也会变得越来越慢, 有时甚至会严重影响实时绘制效果. 于是人们提出了在复杂模型的动态显示中, 当观察点距离某一物体很近时, 该物体的图像将在屏幕上占据较多的像素点; 而当观察点距离某一物体很远时, 该物体的图像只能在屏幕上占据很少的像素点. 在这种情况下, 用大量的面去精确表示该物体是不必要的. 为了更好地实现

^① 收稿时间:2012-02-28;收到修改稿时间:2012-03-30

三维复杂模型的实时动态显示, 则将三维物体用多种不同精度表示并根据观察点位置的变化而选择不同精度的模型, 是一种非常有效地手段, 这种方法通常被称为细节层次 LOD(Level of Details)技术^[2].

1.1 LOD 技术原理

LOD 技术作为虚拟现实技术中的图形生成加速方法, 其基本原理是: 在不影响画面视觉效果的前提下, 通过逐次简化景物的表面细节来减少场景的几何复杂性(即对景物的细节部分用更多的三角片来描绘, 非细节部分用较少的三角片来描绘), 从而提高绘制算法的效率. 该技术通过对每一原始多面体模型建立几个不同逼近精度的几何模型. 与原模型相比, 每个模型均保留了一定层次的细节. 在绘制时, 根据不同的标准选择适当的层次模型来表示物体.

1.2 LOD 技术发展

LOD 技术依次经历了离散 LOD 模型、连续 LOD 模型及多分辨率模型 3 个阶段^[3]. 自 1976 年提出 LOD 技术以来一直到 90 年代前半期, LOD 模型的构建主要集中在离散 LOD 模型方面. 90 年代中期开始出现了连续 LOD 模型. 现在对地形模型的研究都集中在多分辨率模型上, 这也是本论文的研究内容. 多分辨率模型是指不同细节水平层次同时存在于模型的不同区域. 这种模型没有显式的细节层次存在, 在绘制过程中, 由相应算法自动生成.

2 基于四叉树的动态多分辨率 LOD 地形构建

多分辨率的地形表示是根据视点的位置建立具有多个细节层次的地形模型, 对距离视点近的地形区域使用高分辨率层次, 使用较为精细的数据且用了较多的三角形表示此区域, 在模型显式时, 此区域的图形会比较清晰; 对距离视点较远的地形区域使用低分辨率层次, 用的简化的地形模型且用较少的三角形表示这部分区域, 这样就能达到简化地形的目的, 从而提高地形的建模与绘制效率.

地形多分辨率的模型构建其实就是根据视点位置而建立的多级分辨率层次, 对视点近的采用较高的分辨率, 对视点较远的采用较低的分辨率, 随着视点的变化地形模型要不断地进行调整和重构, 它是一个基于视点的动态建模过程.

在地形构建过程中根据分辨率的需要动态选取合适的节点集, 并且节点集必须完全覆盖整个地形区域,

以达到对整个地形的多分辨率表示. 不同分辨率的节点集是通过基于评价系统的分割获得的, 因此评价系统的构建也至关重要.

由于数字地面模型通常用不规则三角网(TIN)和规则格网(RSG)表示, 因此可以将多分辨率模型相应地归结为基于不规则三角网的过分分辨率模型和基于规则格网的多分辨率模型两类^[4]. 本文以基于规则格网的四叉树模型为例讲解四叉树模型的构造及裂缝的处理方法.

2.1 四叉树模型的构造

四叉树模型是依据四叉树结构建立的模型, 其基本思想是^[5]: 利用四叉树结构的每一个节点都覆盖地形中的一块矩形区域. 如图 1 与图 2 所示, 根节点 A_0 覆盖了整个地形区域, 构成了地形的一个最为粗略细节层次 T_0 , 此时表示的是地形的低分辨率表示, 对整个区域按照建立四叉树的方法继续细分, A_0 能够划分成 A_1, A_2, A_3, A_4 四个子块, 而 A_2 又能划分成 $A_9, A_{10}, A_{11}, A_{12}$, 这个过程就建立了这块地形区域的多分辨率表示, 在图 2 中, 用虚线框包含的节点就组成了较为精细的细节层次 T_1 . 用四叉树构造多分辨率地形时有以下几点优势: 一是四叉树结构可天然地模拟规则地形的层次, 很方便地对地形进行分块划分; 二是四叉树结构表示的地形块可方便的对地形表面进行纹理映射; 三是四叉树结构能够有效地降低地形表示时间, 加快地形的绘制^[6]. 鉴于上述优点的考虑, 因此本次采用四叉树结构实现地形的可视化.

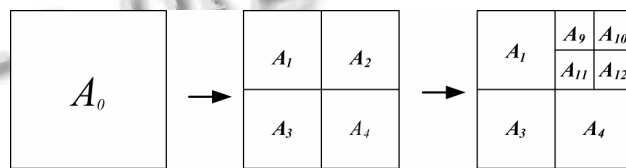


图 1 地形的四叉树分割示意图

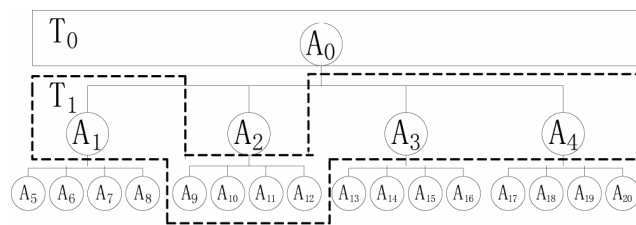


图 2 四叉树结构多分辨率表示地形

2.2 节点判断准则

在对地形漫游时, 随着视点不断移近地形, 细节

需要变得逐渐丰富,而移远时地形要变得粗糙.因此,需要建立节点评价函数,以便在地形简化过程中通过节点评价函数对节点做符合视觉特性的分割,即适合分辨率的细化^[7].本文从两个方面来建立节点评价测度:一是根据对象离视点的远近即视距作为标准;二是地形本身的粗糙程度即起伏度.

2.2.1 视距测度

根据人的视觉特性,显示物体越大,则需要显示更多的细节.同时对于同一物体,视距越小,离观察者越近,需要用更多的细节表示.通过下面的公式来对节点进行评价:

$$\frac{L}{D} \leq C_1 \quad (1)$$

式中, L 为节点中心位置到视点的距离; D 为节点的大小; C_1 为视距调节因子, C_1 越大, 地形细节越多, 反之则细节越小. 当满足式(1)时, 节点需要继续分割.

2.2.2 粗糙度测度

粗糙度测度的原则是: 在地形比较平坦即地形起伏较小的地方, 用较低细节即较少的网格可以满足显示的逼真度要求; 而地形粗糙度即起伏大的地方, 就需要较高细节即较多的网格来表示^[8]. 可通过下面的公式来表示:

$$\frac{L}{\varepsilon} < C_2 \quad (2)$$

式中, ε 为最大地形误差; C_2 为粗糙度调节因子. 对于给定的 C_2 , 式(2)满足时需要继续分割; 否则, 节点不用继续分割.

2.2.3 节点综合测度

综合视距和地形粗糙测度两方面因素, 建立如下节点分割的评价公式:

$$f = \frac{L}{D * \varepsilon * C_1 * C_2} < 1 \quad (3)$$

当 $f < 1$ 时, 则该节点应继续分割; $f > 1$ 时, 不用分割.

2.3 地形裂缝的处理方法

2.3.1 裂缝产生的原因

在利用四叉树表示地形时, 如果在相邻的区域间采用了不同的分辨率表示, 则在相邻结点间就可能产生“裂缝”, 如果处理不完善不仅会影响漫游时的视觉效果, 还会大大降低地形的真实感^[9]. 如图 3 所示, 位于高分辨率层次中边界 AB 的中点 C 的高程值可通过线性插值得到, 即 C 点得高程值:

$$Z(D) = \frac{Z(B) + Z(C)}{2} \quad (4)$$

位于低分辨率层次中边界 AB 的中点的高程值 D 为真实值, 即 D 点得高程值 $Z(D)$ 不是通过线性插值得到的, 在通常情况下 $Z(C) \neq Z(D)$, 所以用四叉树构造多分辨率模型时, 会造成相邻的分辨率不同的层次间出现了“裂缝”.

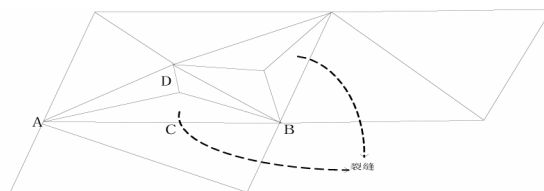


图 3 裂缝的产生

2.3.2 裂缝消除方法

消除相邻不同分辨率层次间的裂缝的方法有两种^[10]: 一种是通过剖分分辨率较低的结点, 使得分辨率较低的结点做适当的改变, 从而消除结点间的裂缝; 另一种是基于限制性四叉树的方法, 该方法通过引入复杂的顶点约束关系消除裂缝, 所有具有此关系的顶点都参与绘制, 使原本可以通过缩减边消除裂缝的节点变为只能通过剖分实现. 这种方法使得裂缝所在节点处理的灵活性大大降低, 时间和空间开销都比较大^[11].

本文结合这两种方法的优点与不足, 提出一种新的裂缝消除方法. 本算法的基本思想是当视点距节点中心距离较远时看到的细节较少, 因此裂缝消除可通过缩减边的方式实现; 而当距离较近时需要观察到的细节较多, 通过剖分方式实现可使细节变得更丰富. 算法如下:

```

遍历过程中
...
If (BeLevel > 2) //两个节点间层级相差一倍或以上
{
    If(d > m) //节点与视点距离大于给定值 m
    {
        缩减高精度节点;
        重新设置分割标志;
    }
Else
{
    剖分低精度节点;

```

(下转第 170 页)