

LOD 地形渲染算法

朱志辉 张嘉华 沈红辉

(广州大学计算机系 广州510405)

摘要 我们开发了一个基于分形和快速动态渲染的地形生成系统,使用了四种不同的渲染算法,并对这几种不同的地形渲染算法进行了比较实验。

关键词 层次细节,地形,渲染,递归算法

LOD Terrain Rendering Algorithm

ZHU Zhi-Hui ZHANG Jia-Hua SHEN Hong-Hui

(Department of Computer, Guangzhou University, Guangzhou 510405)

Abstract We develop a system, based on fractal and quick dynamic render, in which four different types of rendering algorithms are employed. This essay mainly focuses on these four terrain rendering algorithms and makes comparative experiments on them.

Keywords Level of Detail, Terrain, Rendering, Recursive algorithm

分形作为一门新兴学科,有其广泛的应用价值,正受到各行各业人士的关注。所谓分形是一种具有自相似特性的现象、图像或者物理过程。也就是说,在分形中,每一组成部分在特征上和整体相似,只仅仅是变小了一些而已。

随着三维图形学的发展和计算机三维图形显示能力的提高,分形技术和高精度动态的三维技术在地形的生成、漫游和快速渲染有着较大的发展潜力。目前的地形渲染技术主要有两种:Voxel 和 LOD,本文主要介绍有关 LOD 地形渲染算法。LOD 也就是层次细节(Level of Detail)的简称,不同于 Voxel 技术,它是一种使用多边形的,真正的 3D 渲染技术。它根据一定的规则来简化物体的细节,可以根据需要来选择不同细节程度的物体表达方式。如离观察者近的选择较高的细节程度、反之选择较底的细节程度。用在地形渲染中,有时我们也称它为多分辨率地形(Multi-resolution terrain)渲染技术。LOD 算法处理起来比较复杂,但是它让我们可以足够自由地去控制我们的场景渲染,更加方便地使用显卡的硬件加速功能。而且可以很容易在场景中组合其他的物体。

我们开发了一个基于分形和快速动态渲染的地形生成系统,在地形渲染算法上研究出地形自适应渲染策略,而这种渲染算法不同于其它任何一种算法,本文主要是讨论我们在开发过程中提出的四种不同的地形渲染算法。

1 直接双循环渲染算法

这种算法十分简单且十分直接,它非常适合十分小的场景,在小于 $128 * 128$ 的地形场景渲染中是十分快的,而且比其它任何一种地形算法都快,因为它并不需要像递归、迭代那样消耗大量的内存,它只是把视觉范围内的地形用一个矩阵套起来,实际上就是多渲染了一个看不见的三角形。如图1,最外围的矩形表示地形场景,三角形 ABC 是实际眼睛所能看见的视觉三角形范围,矩形 ADEF 则是本算法实际绘制的范围,显而易见本算法对于视觉范围大小接近场景大小,即地形场景很小的时候是非常快速的。

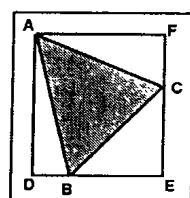


图1

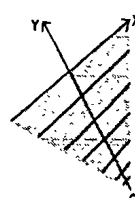


图2

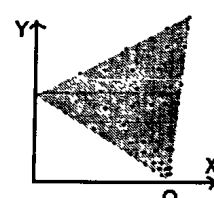


图3

这种算法的细节层次控制基于循环的步长,但其缺陷是它无法应付大场景,当场景大小在 $128 * 128$ 以上,程序几乎无限期地处于运算过程中,渲染非常慢,显得力不从心。由此可见,这种双循环直接渲染算法特别适合小场景或者视觉范围跟场景大小非常接近的地形场景,我们开发的系统中,在场景小的时候是自动调整到本算法上的。

2 视觉三角形算法

这种算法特别适合远距离,大范围,对精度要求不高的渲染过程。同样地,这种算法的细节层次控制也是基于循环的步长。

如图2,以 O 为原点,眼睛所在点和眼睛目标点的连线为 Y 轴,视觉三角形中与 Y 轴垂直的边为 X 轴建立坐标系, Y 轴方向上的坐标以等差数列般增大的距离为变化的单位长度,也就是说如图,离原点 O 最近的直线在 Y 轴上坐标为1,第二条为2,并且直线之间的距离成等差数列,同样的 X 轴方向上循环的步长和次数就由那一条条直线的长度距离决定。这种算法在具体操作上有以下特点:

- 1)能够根据三维场景中目标远近绘制不同精确度的三角形,离得眼睛越近就绘制越多的三角形,越远就绘制越少的三角形。
- 2)根据不同渲染级别和精度确定循环的步长,从而能够在速度和质量中找到均衡的渲染策略。
- 3)能够自行建立坐标系,仍然基于双循环算法,与第一种

算法相比,不需要绘制多余的三角形。

4)有较快的反应灵敏度,但如果视觉目标近的话,会出现明显的图像跳跃现象,只适合较远距离的视觉观察模式,比如远距离的高空鸟瞰图。

3 偏向坐标系算法

这种算法是在前面两种的基础上,特别是在第二种算法的基础上研究出来的。这种算法的细节层次控制也是基于循环的步长。

这种算法基于正交坐标系,避免了明显跳跃。首先确定视觉范围,确定 Y 方向上循环的步长,步长在实际地图上的投影距离由视觉距离来确定,而在 X 方向上,同样地由顶点所在三角形在实际屏幕空间的投影长来决定顶点索引的密度,这样能够有效地提高距离眼睛 O 的物件的精确度,适合近距离空间视觉角度转动,同时降低远离眼睛 O 物件的精确度。这种算法在具体操作上有以下特点:

1)由于始终保持正交坐标系进行双循环,不会由于视觉镜头的频繁转动而出现图像跳跃,能够产生平滑连续性的图像。

2)能够由步长即循环密度来定义细节层次,对于近距离高精度渲染有良好的适应性,能实现高速渲染。

3)不需要使用递归或者迭代、速度快,消耗的内存小,能够动态反馈渲染质量。

4 递归算法

这种算法基于二叉树或者四叉树。如图4所示,它表示了从0到5次层次级别也就是5层递归的三角形数目的变化,随着递归深度的增加,三角形不断加倍,直到达到最大的递归深度就开始对每一个三角形进行渲染。这种算法用普通的数组去处理会消耗大量内存,但是如果使用 AVL 链表去储存,速度会提高很多。这种算法有如下的特点:

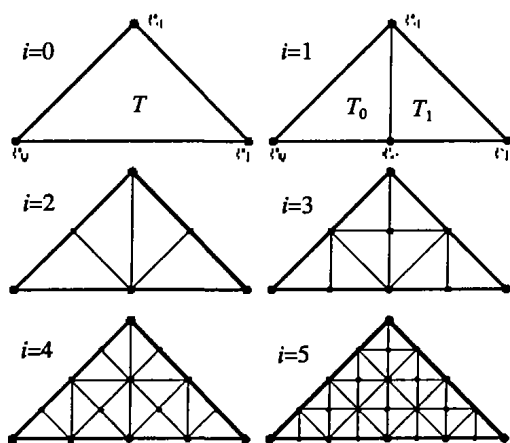


图4

1)能够直接通过指定层次级别,直接通过递归的层数来设定,但如果使用普通数组会消耗大量内存;

2)在边界处理时会出错,需要在算法上加上边界纠正的代码;

3)适合近距离,高精度,多层次地形场景渲染;

4)在 Visual Basic 中表现特别差,由于 VB 在递归和数据结构上的可动态定义上的缺陷,算法速度有所降低。

5)能够支持 AVL 链表。对不同层次级别、不同分辨率有很好的支持;

6)如果在高速渲染过程中由于纹理坐标的变化同样会出现大幅度的 popping 跳跃。

5 几种不同的地形渲染算法之间的比较实验

上面讨论的四种地形算法都有各自的特点,也有各自的细节层次控制方式,为此我们对它们进行了比较实验。

在同一台计算机上,先后对上面提出的四种地形渲染算法进行了具体的测试。为了得到精确的实验数据,下面数据中的平均值都是在程序启动两秒后运行环境达到基本稳定的十秒内记录下的数据,最大值和最小值也是在程序启动后第2秒至5分钟内得出的。

在四种地形渲染法中,第一种双循环并没有应用到 LOD 算法,只是在视觉范围内最小和最大范围应用 X 轴和 Z 轴循环渲染地形网格。除了这最基本的渲染算法外,我们再试验了另外三种地形算法。第二种算法是三角坐标系算法,第三种是偏向坐标系算法,第四种是使用递归算法。下表是经过实验得出的这几种地形渲染算法的特点差异。

表1 实验比较结果

算法名称	双循环实时	三角坐标系	递归	偏向坐标系
是否支持 Z-Buffer	✓	✓	✓	✓
是否支持 W-Buffer	✓	✓	✓	✓
是否使用分支树结构			✓	
FPS 范围	57.24—142.53	68.78—125.42	72.46—134.66	102.12—129.52
平均 FPS	88.52	88.42	110.13	108.01
最大三角形数每秒	1075400	1127000	1242000	1302000
平均三角形数每秒	950000	1060000	1122000	1260000
是否会发生 Popping	否	会	否	否
能否应用几何渐变	能	能	能	能
能够确定视觉范围	不能	能	能	能
是否容易应用 Index Buffer	容易	容易	难	容易
能否指定细节层次级别	能	能	能	能
能否直接指定细节层次级别	否	否	能	否

从上表的数据可以看出:递归算法和偏向坐标系算法速度都很快,但后者 FPS 变化范围稳定,不会发生大幅度跳跃闪烁,能够实现缓慢几何渐变;而递归算法会消耗较大内存,在地图小或者地图与视觉范围大小差不多的时候,双循环算法由于运算简便,速度更快。在四种算法中,我们觉得偏向坐标系算法稍稍优胜一筹,但在不同的情况下则各有优异。由于四种算法各有优异,需要一种新的根据不同尺度动态的自

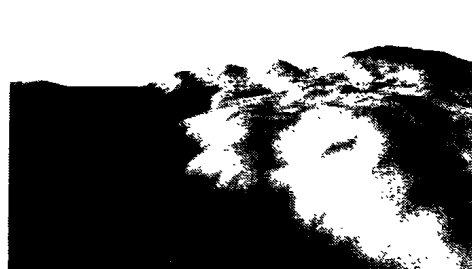


图5 双循环渲染算法生成的地形

适应渲染策略在上述的四种算法之间调整,从而能达到视觉效果最佳,速度最快的三维场景渲染效果。



图6 偏向坐标系算法生成的地形

结束语 我们开发了一个基于分形和快速动态渲染的地形生成系统,在系统中使用了上述四种渲染算法(参见图5和

图6的地形生成效果图),并设计了一种新的动态的根据不同视觉和场景因素的 LOD 细节层次自适应策略,动态地在四种地形渲染算法中选择最优化的算法,通过 Direct3D(Direct Graphics)硬件图形接口实现三维地形场景的快速动态渲染,同时还解决了 LOD 技术相关的插值以及实际编程中遇到的一些与 Direct3D SDK 相关的问题。

参考文献

(上接第207页)

- 33 Hsu C T, Wu J L. Image watermarking by wavelet decomposition. *Academy of Information and Management Sciences Journal*, 2000,3(1):70~86
- 34 Solachidis V, Pitas I. Circularly Symmetric Watermark Embedding in 2-d dft domain. In: *Proc. of ICASPP'99*, Phoenix, Arizona, USA, 1999. 15~19
- 35 Pitas S T. Embedding self-similar watermarks in the wavelet domain. In: *Processings of the IEEE ICASSP*, Istanbul, Turkey. 2000,4:1967~1970
- 36 Kundur D. Improved digital watermarking through diversity and attack characterization. In: *Proc. of the ACM Workshop on Multimedia Security* Orlando, FL, USA. 1999. 53~58
- 37 Inoue H, Miyazaki A, Katsura T. An image watermarking method based on the wavelet transform. In: *Proc. of 6th Intl. Conf. on Image Processing*. Held: Kobe, Japan, 1999. 24~28
- 38 Kim J R, Moon Y S. A robust wavelet-based digital watermark using level-adaptive thresholding. In: *Proc. of the 6th IEEE Intl. Conf. on Image Processing*, ICIP'99, Kobe, Japan, 1999. 2:226~230
- 39 Chae J J, Manjunath B S. A robust embedded data from wavelet coefficients. In: *Proc. of SPIE, Electronic Imaging, Storage and Retrieval for Image and Video Database*, San Jose, CA, USA, 1998. 3312:308~317
- 40 Kim Y S, Kwon O H, Park R H. Wavelet based watermarking method for digital images using the human visual system. In: *Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems*, Orlando, FL, USA, 1999, 4: 80~83
- 41 Shi Y Q, Sun H. Image and video compression for multimedia engineering. Boca Raton, London New Work Washington, D. C., CRC Press, 2000
- 42 Carlson C R, Cohen R. A simple psychophysical model for predicting the visibility of displayed information. In: *Proc. of the Society for Information Display*, 1980, 21: 229~245
- 43 Delaigle J F, Devleeschouwer C, Macq B, Langendijk I. Human visual system features enabling watermarking. <http://www-it.et.rudelft.nl/~inald/pubs/Watermarking/ICME2002.pdf>
- 44 Barni M, Bartolini F, Cappellini V, Lippi A, Piva A. A DWT-based technique for spatio-frequency masking of digital signatures. In: *Proc. IS&T/SPIE Conf. Security and watermarking of multimedia contents*, 1999, 3657:31~39
- 45 Lewis A S, Knowles G. Image compression using the 2D wavelet transform. *IEEE Trans. Image Processing*, 1992(1): 244~250
- 46 Podilchuk C I, Zeng W. Image adaptive watermarking using visual models. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1998, 16(4): 525~539
- 47 Kundur D, Hatzinakos D. A robust digital image watermarking method using wavelet-based fusion. In: *Proc. of the IEEE Intl. Conf. on Image Processing*, ICIP'97, Santa Barbara, California, USA, 1997, 1:544~547
- 48 Wilson T A, Rogers S K, Myers L R. Perceptual-based hyperspectral image fusion using multiresolution analysis. *Optical Engineering*, 1995, 34(11):3154~3164
- 49 王相海, 张福炎. 静态图像编码研究进展. *计算机研究与发展*, 2001, 38(11):1315~1326
- 50 Inoue H, Miyazaki A, Yamamoto A, Katsura A. A digital watermark technique based on the wavelet transform and its robustness on image compression and transformation. *IEICE Transactions, Special Section on Cryptography and Information Security*, 1999, 82(1):11~20
- 51 Shapiro J M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1993, 41(12): 3445~3462
- 52 Gall D L, Tabatabai A. Subband coding of digital images using symmetric short kernel filters and arithmetic coding techniques. In: *Proc. IEEE Int. Conf. On Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 1988. 761~764
- 53 Said A, Pearlman W. An new, fast and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees. *IEEE Transactions Circ. Sys. Video Tech.*, 1996, 6(3): 243~249
- 54 Taubman D. Report on coding experiment codeff22: EBCOT. ISO/IEC JTC1/SC 29/WG1 N1020R, Oct. 1998
- 55 Su P S, Wang H J, Kuo C J. Digital watermarking on EBCOT compressed images. In: *Proc. of SPIE's 44th Annual Meeting, Applications of Digital Image Processing XXII*, 1999, 3808:313~324
- 56 Su P C, Wang H J, Kuo C J. An integrated approach to image watermarking and JPEG-2000 compression. *Journal of VLSI Signal Processing*, 2001, 27:35~53
- 57 Chen T S, Cheng C Y. A new scheme of image data hiding based on EBCOT and Jpeg2000 lossy compression. <http://www.bohr.idv.tw/pdf>
- 58 Grosbois R, Ebrahimi T. Watermarking in the JPEG2000 domain. In: *Proc. of the IEEE Workshop on Multimedia Signal Processing*, 2001. 3~5
- 59 Kutter M, Bhattacharjee S K, Ebrahimi T. Towards second generation watermarking schemes. In: *IEEE-ICIP'99*, Kobe, Japan, 1999, 1: 320~323
- 60 Sweldens W. The lifting scheme: a construction of second generation wavelets. *SIAM J. Math. Anal.*, 1997, 29(2):511~546