

doi: 10.7690/bgzdh.2015.08.020

# 基于 CTS 的大地景仿真的参数优化设计

吕明<sup>1</sup>, 郭建光<sup>2</sup>, 张原<sup>3</sup>

(1. 海军航空兵学院飞行理论系, 辽宁 葫芦岛 125001; 2. 海军航空兵学院空中领航与勤务系, 辽宁 葫芦岛 125001;  
3. 海军航空兵学院飞行模拟系, 辽宁 葫芦岛 125001)

**摘要:** 为解决大地景仿真时显示逼真度与画面流畅度相互制约的问题, 对基于地形生成系统(creator terrain system, CTS)的大地景仿真进行参数优化设计。结合某型飞机飞行仿真系统研制实例, 分析地形纹理和地形模型的生成原理, 给出其参数设置, 重点研究重要参数对纹理和地形生成的影响。仿真结果表明, 该设计能有效解决地景逼真度与流畅度互相制约的难点。

**关键词:** 飞行视景; 地景; CTS; 地形纹理; 地形模型

**中图分类号:** TP319 **文献标志码:** A

## Parameter Optimization Design of Large-area Landscape Simulation Based on CTS

LYU Ming<sup>1</sup>, Guo Jianguang<sup>2</sup>, Zhang Yuan<sup>3</sup>

(1. Department of Flight Theory, Navy Air Force Academy, Huludao 125001, China;  
2. Department of Air Navigation & Service, Navy Air Force Academy, Huludao 125001, China;  
3. Department of Flight Simulation, Navy Air Force Academy, Huludao 125001, China)

**Abstract:** To solve the problem of mutual restraint between display fidelity and display fluency on large-area landscape simulation, the large-area landscape simulation parameters were optimized design based on CTS. Combined with an example of certain type aircraft flight simulation system, analyzed the generation principle of terrain texture and terrain model, giving its parameter settings, focused on the influence of important parameters for texture and terrain generation. The simulation results show that the design can effectively solve the mutual restrain between fidelity and fluency.

**Keywords:** flight vision; landscape; CTS; terrain texture; terrain model

### 0 引言

地形生成系统(creator terrain system, CTS)是一款使用比较广泛的非开源的商用地景生成软件。该软件通过向导式的操作界面, 完成地形纹理(image wizard)、地形模型(terrain wizard)和文化数据(culture wizard)的便捷导入、生成与修改, 并以格网堆栈技术管理生成的庞大数据, 使得用户能在较短的时间周期内生产出高精度的大地景<sup>[1]</sup>。CTS的向导式界面在方便用户的同时, 往往造成用户倾向于使用默认设置, 忽略了重要参数的作用。例如: 对于同一地景, 运输机飞行时效果良好, 而在歼击机飞行时就发生卡滞现象。这是因为歼击机飞得更快、高度更高, 需要地景的加载速度更快、范围更大。受视景计算机性能限制, 往往需要调节某些重要参数的设置, 寻求逼真度与画面流畅度的平衡。笔者结合某型飞机飞行仿真系统研制实例, 介绍通过合理设置内部参数, 解决大地景仿真时显示逼真

度与画面流畅度相互制约的问题。

### 1 地形纹理和地形模型的生成原理

人在观察目标并与目标距离很远时, 目标看起来形状趋于平面, 外观趋于模糊。随着人与目标距离缩短, 目标的形状趋于立体, 外观趋于清晰, 目标的细节显现得越多; 因此, 在视景内, 目标距离视点很远时, 目标应该是不可见或者仅用一个面, 一张低分辨率的纹理来描述即可, 而随着目标与视点距离缩短, 模型的面数和纹理分辨率都越来越大<sup>[2]</sup>。

CTS在处理纹理时采用MIP(multum in parvo)技术。如图1所示, 在Virtual Texture Grid Structure中, 根据卫片的范围和最高分辨率将卫片分成13个层级。0~9层为一张纹理, 这张纹理的像素数目从1×1增加到512×512<sup>[2]</sup>。从第10层开始, 纹理被分为2×2块, 每块像素数目为512×512。第11层为4×4块, 每块像素数目为512×512, 以此类推。

收稿日期: 2015-03-27; 修回日期: 2015-05-04

作者简介: 吕明(1978—), 男, 辽宁人, 硕士, 讲师, 从事飞行模拟器仿真、图形图像仿真控制技术、航空仪表电气研究。

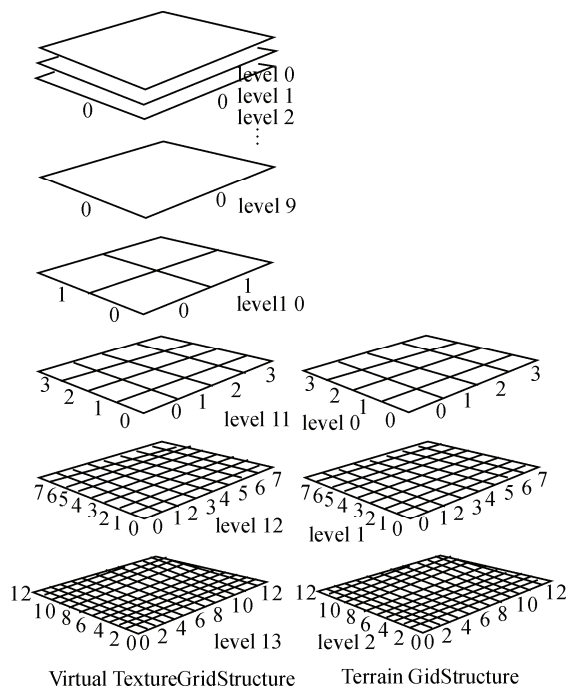


图 1 虚拟纹理和地形的分块原理<sup>[3]</sup>

地形模型的生成采用 LOD (levels of detail) 技术<sup>[4]</sup>。如图 1 所示，在 Terrain Grid Structure 中，存在 3 个 LOD 层级，层级的分块数量随着层级数的增大而增大，说明层级越高的地形将具有更多的面数来表达地形的细节。LOD 层级与纹理层级是对应的。在 CTS 中，默认生成的最高 LOD 层级的分块尺寸与最高分辨率纹理的尺寸相等，即纹理的 level 13 与地形的 level 2 相等，实现精细的模型与高分辨率纹理相匹配。如果地形的 level 2 的分块尺寸大于纹理的 level 13 的分块尺寸，level 13 层级的纹理将不能贴在地形的 level 2 层级上，level 12 或更低级的纹理将贴在 level 2 层级上，那么，纹理的逼真度降低。

## 2 地形纹理的参数设置

### 2.1 采用的卫片数据

机场区域为卫片中心。

分辨率 11.1 m 的卫片，范围 553 km×646 km。

分辨率 2.4 m 的卫片，范围 61 km×81 km。

分辨率 0.58 m 的卫片，范围 9.6 km×12.7 km。

### 2.2 地形纹理的参数

运行 Image Wizard 进入如图 2 所示的步骤时，需要选择 Number of Levels 和 Tile Size 的数值。

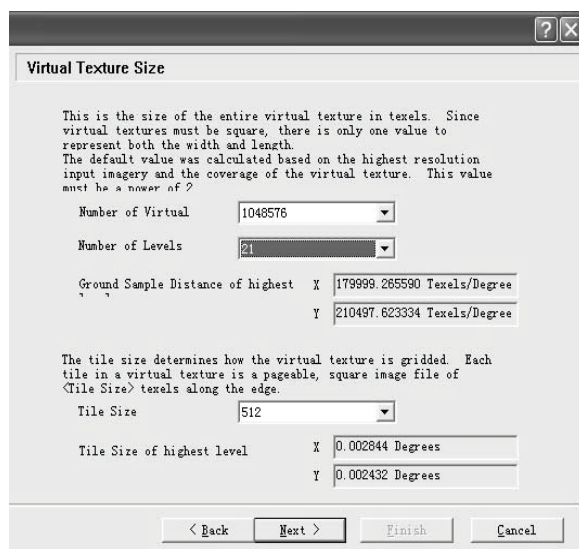


图 2 虚拟纹理的参数设置

#### 2.2.1 纹理层级数

Number of Levels 的数值决定了 CTS 将要导入的卫片分成多少层级。这个数值由卫片的范围和卫片的最高分辨率决定。CTS 能够自动识别出被导入的卫片的范围和分辨率，因此，CTS 自动计算出纹理层级数为 21，并给出 X 轴向上的每个经(纬)度所包含的纹素数目 (ground sample distance, GSD) 为 179 999，Y 轴向上的 GSD 为 210 497。计算得：

以 1°经(纬)度大约等于 111 120 m，Virtual Texture 的最高精度为  $D^{[5]}$ ：

$$D_x = \frac{111120}{179999} = 0.617 \text{ m}, > 0.58 \text{ m}.$$

$$D_y = \frac{111120}{210497} = 0.528 \text{ m}, < 0.58 \text{ m}.$$

虽然  $D_x$  偏大，会导致地景纹理的 X 轴向不能完全展示最高分辨率，但相差并不大，对实际视觉效果影响不明显。不妨将 Number of Levels 数值调整为 22，这主要考虑到该数值直接关系纹理的分块数目，并且地形模型的最高 LOD 层级的分块数目必须大于或等于最高层级的纹理的分块数目，最高分辨率的纹理才会贴在最高 LOD 层级的地形上。因此，选择 22 比选择 21 会大量增加纹理和地形的分块数目，在纹理效果增加不明显，而大量增加地景中模型的面数和纹理数据量，必然占用大量内存，造成计算机运行流畅度下降。

#### 2.2.2 纹理的分辨率

Tile Size 的数值就是每张纹理的分辨率。CTS

提供了 256、512、1 024 3 种分辨率。在确定纹理层级数为 21 的情况下,纹理的分辨率决定了生成的纹理数据量的大小和数量的多少。

如图 3 所示,对于同一张卫片,用 NT 代表生成纹理的总数目,则

$$NT_{256} > NT_{512} > NT_{1024}$$

以 M 代表纹理占用的内存空间,则

$$NT_{256} < NT_{512} < NT_{1024}$$

由于纹理的分辨率数值决定了地形的分块数目;所以,通过实验可知,以 MT 代表生成地形模型占用的内存空间,则

$$NT_{256} > NT_{512} > NT_{1024}$$

以 100 km×100 km 区域做实验,以 SUM 代表视图运行时占用的内存数,发现

$$SUM_{256} \approx SUM_{1024} > SUM_{512}$$

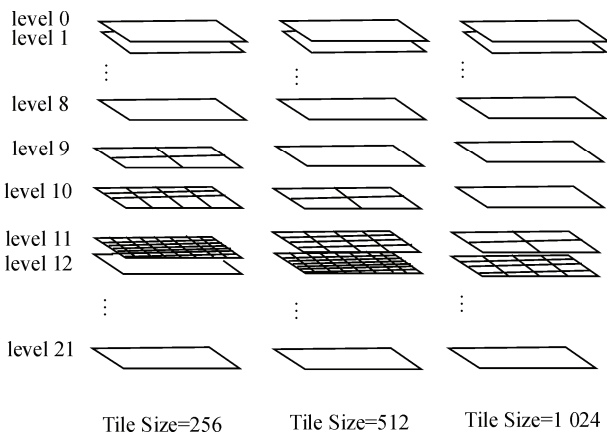


图 3 分辨率与纹理分块数

在运行纹理分辨率为 256 的地景时,地形、地貌表现更好。但由于需要不断加载和删除的地形的 flt 模型数量远大于其他分辨率下的地景,往往在地景中会看见地景模型的加载过程,说明纹理分辨率为 256 的地景流畅度稍差,适合于直升机和初级教练机,低速、低空飞行的飞行器视景仿真,不适合歼击机这种高速、高空飞行器视景仿真;在运行纹理分辨率为 1 024 的地景时,地形加载较快,对山地模型表现效果较差,由于纹理占用空间较大,加载机场附近纹理将占用较多内存,易发生驱动程序初始加载地景时间长的问题。在视景计算机性能允许的情况下,该分辨率地景适合大范围的地景。由于地景中要嵌入 Creator 制作的机场模型和大量的树木、建筑、显著地标与灯点,在飞近机场区域时,要占用较多内存,为避免发生加载慢、卡滞的现象,

不采用 1 024 分辨率,而采用 512 分辨率的纹理。

### 3 地形模型的参数设置

在运行 Terrain Wizard 时,进入到如图 4 所示的步骤。

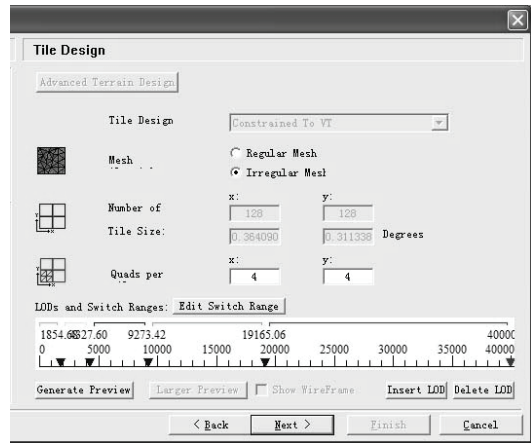


图 4 地形的参数设置

#### 3.1 LOD 的设置

如图 5 所示,进入 Edit Switch Range 界面,修改为 5 级 LOD。默认给定 8 个 LOD 层级,这是 CTS 能够生成的最多 LOD 层级。

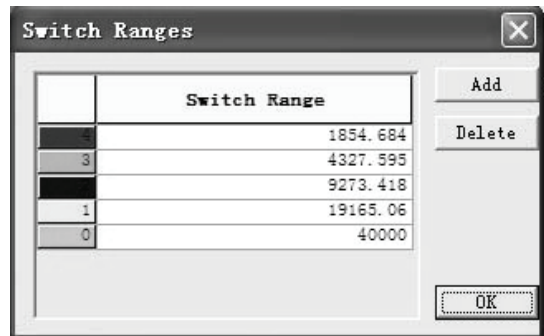


图 5 LOD 层级数和转换距离的参数设置

图 5 标明了各级 LOD 之间的转换距离。对于飞行视景,仅从转换距离来衡量,一般采用 3 级 LOD 就足够表达地景中地形的变化,其设置一般为 0~5 000 m, 5 000~10 000 m, 10 000 m~最大视野距离。但是,从图 1 可知,LOD 层级越少,LOD0 层级的分块数越多。从图 3 的分析中可知:分块数越多,运行时占用的内存越大,越影响流畅度。所以,LOD 层级的层数不仅仅考虑转换距离的视觉效果,更重要的是考虑 LOD0 层级的分块数目是否会影响流畅度。

如图 6 所示,为在 Spatial View 中,使用 Tile On 命令,观察最终生成地形的模型分块情况。图中,最上一层方形网格代表 LOD0 层地形的三维模型构

造，该层级每块地形尺寸最大，表达地形的精度最低。依次类推，其余网格从大到小分别代表了 LOD1~LOD4。值得注意的是，LOD4 层级只覆盖了卫片精度为 0.58 m 的地形；LOD3 层级覆盖范围的边长为 LOD4 层级的边长加上 2 个 LOD4 分块的边长；LOD2 层级覆盖了卫片精度为 2.4 m 的地形；LOD1 层级覆盖范围的边长为 LOD2 层级的边长加上 2 个 LOD2 分块的边长；而 LOD0 层级覆盖了全部卫片。这说明了 CTS 是按照纹理精度来智能化生成相应精度的地形，实现相应精度的纹理贴在对等精度的地形上。但这种智能化仅体现 LOD 层级数不少于 4 的情况下。过少的设置 LOD 层级数，只会加大 LOD0 层级的地形精度，同时又极大地增加了运行时的内存占用量。如图 7 所示，5 级 LOD 时，LOD0 层级被分为 128×128 块，而如果设置为 3 级 LOD 时，LOD0 层级被分为 512×512 块，对于一台性能配置中等的视景计算机，在视景运行一段时间后，将会产生地形加载不上、视景卡滞等现象。

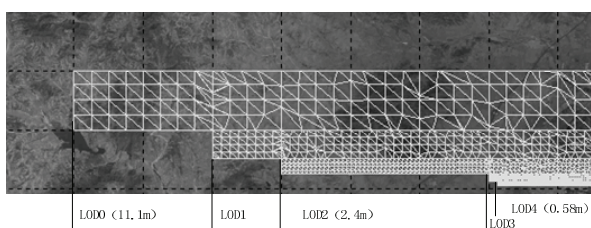


图 6 各 LOD 层级的范围和分块尺寸

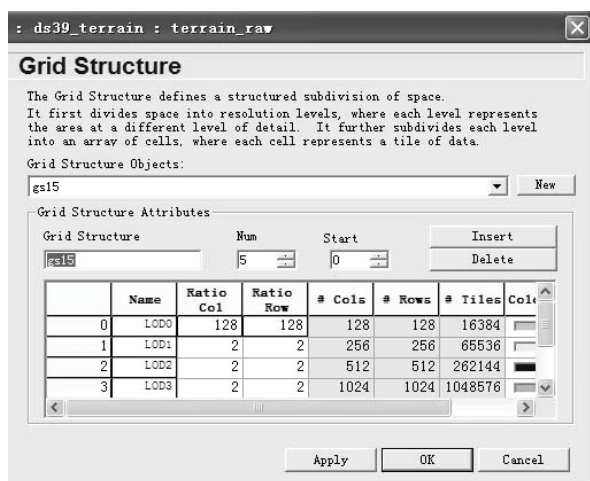


图 7 各 LOD 层级的分块数目

图 7 中的每层 LOD 的分块数目是可以更改的。例如将 128 改成 64 或 512 等等。经验表明：各 LOD 层级的分块数差别最好为 2 倍，否则，生成过程中易发生错误，地形在不同 LOD 层级接缝处易产生裂缝。

### 3.2 Quad 的设置

Quad 数值决定了每个地形分块内的面数。在图 4 内，设置数值为 4。Quad 数值可以进入 Tessellate Mesh 中修改每个 LOD 层级的具体 Quad 数值，如图 8 所示。

图 9 分别为 Quad=8 和 Quad=4 的同一块地形。

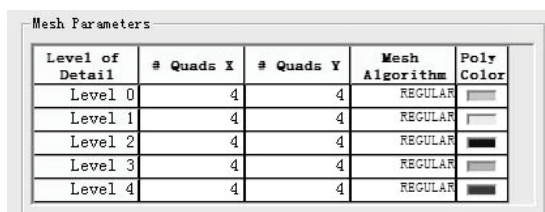
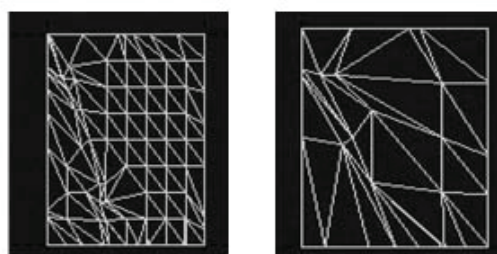


图 8 Quad 数值修改界面



(a) Quad=8 (b) Quad=4

图 9 不同 Quad 值的地形构造

显然，修改 Quad 值能够在不改变每层 LOD 的分块数的情况下，增加或减少模型的面数，使得地形模型的实际精度增加或减小。对于飞行视景仿真，Quad 值应根据机场大约 10 km 范围内的地形为参考。如果为山地则可以适当加大 Quad 值，以增强山地地形的表现效果，如果机场附近主要为平原或海洋，保持 Quad 值为 4 或 5 即可。不要增大 LOD0 层级的 Quad 值，由于在 LOD0 层级的地形上空，飞行高度一般很高，借助纹理效果就能够表达出山地的沟壑峰谷，增大 Quad 值只是增加内存占用量，实际效果改善不明显<sup>[6]</sup>。

某型飞机飞行仿真系统的飞行视景效果图，如图 10 所示。



图 10 飞行视景效果图

### 4 结束语

仿真结果证明：笔者通过合理地优化 CTS 的内部参数，能够大量缩减地景生成时间，获得既具有较高逼真度，又能流畅运行的大地景。

#### 参考文献：

[1] 张晶, 陈义军, 张倩, 等. 基于 CTS 的大规模复杂地形建模研究[J]. 自动化技术与应用, 2010, 29(10): 43-46.

[2] 杨进, 李程, 费立凡. 基于 CTS 的大地形仿真应用研究

\*\*\*\*\*

(上接第 79 页)

任务名称	任务对象	任务状态	完成进度	创建日期	开始日期	结束日期
Task2	wj04	正在进行	25%	2015-04-22	2015-04-22	2015-04-24
Task2	wj07	尚未开始	0%	2015-04-22	2015-04-22	2015-04-24
Task1	wj07	等待	75%	2015-04-22	2015-04-22	None
Task1	wj03	尚未开始	0%	2015-04-22	2015-04-22	2015-04-24
Task1	wj01	尚未开始	0%	2015-04-22	2015-04-22	2015-04-24
Task2	wj06	完成	100%	2015-04-22	2015-04-22	2015-04-22
Task1	wj09	正在进行	25%	2015-04-22	2015-04-22	2015-04-24
Task2	wj08	完成	100%	2015-04-22	2015-04-22	2015-04-24
Task1	wj05	等待	75%	2015-04-22	2015-04-22	None
Task1	wj02	正在进行	25%	2015-04-22	2015-04-22	2015-04-24

图 8 移动终端的任务控制界面

### 4 结束语

弱网络条件下的无人机维修质量控制问题是维修质量控制过程中容易忽视的问题。笔者针对弱网络条件下数据传输受阻导致的质量控制滞后的问题展开了研究，设计了无人机维修质量控制系统，建立了弱网络的工作模式，提出了指令触发判断公式，优化了移动端缓存的数据表设计，并引入了基于 XML 文件的数据交换技术。经实验验证表明，该系统能实现弱网络条件下的无人机维修质量控制工作。

#### 参考文献：

[1] 张楠, 张学峰, 姚晓军. 航空装备维修保障精细化管理

[J]. 测绘科学, 2008, 33(1): 185-187.

[3] MultiGen-Paradigm. Inc. Creator Terrain Studio User's Guide[CP/DK]. USA: Multigen-Paradigm Inc, August 28, 2006.

[4] 王乘, 周均清. Creator 可视化仿真建模技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005: 261-304.

[5] 吕明, 张美金, 王述运. 飞行仿真系统中基于 CTS 的地景设计[J]. 计算机应用与软件, 2010, 27(12): 181-183.

[6] 王珂, 宋晓喆, 兴胜利. 基于 Prony 分析的电力系统 FACTS 设备参数优化[J]. 机电工程, 2013, 30(7): 870-873.

\*\*\*\*\*

理论研究与创新实践[M]. 北京: 国防工业出版社, 2014: 319-328.

[2] 贾梦杰. 航空装备技术保障质量控制研究[D]. 南昌: 南昌航空大学, 2013: 2-5.

[3] 闻敬谦, 李青. 基于工作流的航空装备综合维修保障管理[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(10): 2196-2205.

[4] 杜玉姣. 多 Agent workflow 模型的研究与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014: 5-8.

[5] 张志荣, 刘迪, 刘军. 基于物联网技术的高速铁路综合维修物流监控系统[J]. 大连交通大学学报, 2015, 36(1): 92-96.

[6] 孟小峰. 2015 大数据管理专题前言[J]. 计算机研究与发展, 2015, 52(2): 261-264.

[7] 刘新, 张绍晨, 孟庆祥, 等. PDA 森林资源数据采集软件的设计与实现[J]. 林业资源管理, 2009, 3(3): 117-120.

[8] 李鹤朋, 张绍川. 弱网络环境下全天候数据采集的研究与应用[J]. 电子技术与软件工程, 2015, 6(6): 204-207.

[9] 章明, 许青松, 沈锡臣. 基于 XML 的数据交换共享平台模型[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2003, 43(1): 105-107.

[10] 黎明. 基于 XML 的数据交换中间件的研究与实现[D]. 苏州: 苏州大学, 2005: 35-36.

[11] 孙鑫. Java Web 开发详解[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012: 67-98.