

doi: 10.7690/bgzdh.2022.01.015

基于 Terra Vista 的无人机模拟训练大地形仿真场景创建方法

张明义, 王刘军

(陆军炮兵防空兵学院无人机应用系, 合肥 230031)

摘要: 针对无人机模拟训练中的视景创建问题, 设计基于 Terra Vista 的大地形仿真场景设计和实现方法。利用 Terra Vista 视景仿真平台, 阐述运用细节层次模型的场景设计实现过程和运用实例。测试结果表明: 该方法可快速创建大范围地形地貌场景, 满足无人机模拟训练的使用要求。

关键词: 无人机; 模拟训练; 视景仿真

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A

Large Terrain Simulation Scene Creating Method for UAV Simulation Training Based on Terra Vista

Zhang Mingyi, Wang Liujun

(Department of UAV Application, PLA Army Academy of Artillery & Air Defense, Hefei 230031, China)

Abstract: Aiming at the problem of vision creation in unmanned aerial vehicle(UAV) simulation training, designed a large terrain simulation scene and implementation method based on Terra Vista. Based on Terra Vista vision simulation platform, described the implementation process and application examples of scene design using detail level model. The test results show that this method can quickly create a large range of terrain and landform scenes, and meet the requirements of UAV simulation training.

Keywords: UAV; simulation training; vision simulation

0 引言

无人机实装飞行训练常会受到成本、场地、空域和天气等因素的限制, 组织实施复杂, 特别是对大型无人机来说更是如此。采用虚拟仿真技术进行模拟飞行训练, 是解决上述问题、推动训练常态化开展的重要途径。在无人机模拟飞行训练环境建设中, 大规模地形仿真建模是关键技术问题之一。

目前, 可用于构建虚拟场景的软件平台有 CT(eator terrain studio) Unity3D、Java3D、Terra Vista 等。其中 Terra Vista 是基于 Windows 平台的实时 3D 复杂地型数据库生成工具系统软件。其突出优点有: 1) 矢量编辑功能。内置的点、线、面要素编辑器, 更加便于对矢量文化特征数据进行编辑、修改, 以及分配相应的文化特征属性。2) 自动文化特征生成。通过定制矢量数据(文化特征数据的属性信息), 可将数据自动映射在地形中, 形成树木、森林、公路、铁路、湖泊、楼房等, 可极大丰富地景的文化氛围, 增强沉浸感。3) 可扩展性强。和其他类型软件相比, Terra Vista 的数据输入/输出能力更强, 支持输入的源数据格式和地形数据库输出格式种类最

多。4) 易用性好。Terra Vista 的多边型计算、参数配置向导等缺省数据源可以便捷地设置和生成任意大小的单块地形模型。笔者针对无人机模拟训练中的视景创建问题, 论述基于 Terra Vista 的大地形仿真场景设计和实现方法, 介绍运用细节层次模型的场景设计实现过程和运用实例。

1 无人机飞行训练地形模拟仿真

1.1 大地形模拟仿真

地形地貌分布情况是无人机模拟飞行过程中的一项重要考虑因素。无人机模拟飞行训练地形仿真主要研究 3 维仿真地形模拟、简化、可视化显示等内容^[1-3]。主要通过给定的视点和视线方向, 迅速和逼真地生成 3 维地形场景。

按当前计算机图形学发展水平, 要生成准确的高仿真级的计算机图形, 需有足够的计算时间; 但是, 由于实时图形生成是大规模 3 维地形绘制的基本要求, 有时间限制, 3 维地形的图形质量和几何复杂度就会被牺牲掉, 或者使用其他技术(如纹理映射)来提高 3 维地形的逼真程度。另外, 在大规模场

收稿日期: 2021-09-07; 修回日期: 2021-10-28

作者简介: 张明义(1978—), 男, 吉林人, 博士, 教授, 从事无人机运用工程研究。E-mail: 499420219@qq.com。

景下, 显示精细的地形模型, 对系统的渲染、存储、网络传输等能力都带来了极大挑战。

细节层次模型, 即 LOD (level of detail) 模型方法^[4], 是一种实时的 3 维计算机图形技术。该技术能做到: 当用户视点离物体较近时, 观察到模型的细节; 当用户视点逐渐远离模型时, 观察到的细节逐渐模糊。细节层次模型可以避免因绘制意义不大的细节而造成的时间浪费, 提高复杂场景的生成和显示速度。该特点非常适合于无人机模拟训练中大地形场景仿真要求。篇幅

1.2 视景仿真平台

Terra Vista 是一种视景仿真软件, 基于 DEM 创建多层 LOD 3 维地形, 并把航拍图片或卫星图片作为纹理覆盖在地形表面, 同时引入一些已经建好的实体模型, 如道路、桥梁、建筑、树木、湖泊、河流、植被等, 把实体模型放在 3 维地形表面对应位置, 最终输出视景软件中 3 维引擎可读取的地形模型文件^[5-8]。

Terra Vista 用到的 GIS 原始数据, 可以使用 Global Mapper 进行预处理, 比如分割、校准、坐标转换等。

Terra Vista 具备开发从最基本到最精密地形所需的必备特性, 支持包含所有主流 SAF/CGF 的地形格式。基于自带的地形构建规则和方法、地形模板的自动化生成控制技术、模型的参数化技术和专家系统辅助配置, 用户能够更快速地搭建地形图库。

2 无人机仿真地形场景创建准备

2.1 仿真数据预处理

对广阔地域进行视景仿真, 地表内容复杂多样, 一般包括地貌形态、森林植被、湖泊河流、道路交通、房屋建筑等, 模拟这些实体需要相关地形高程模型数据、影像采集数据、文化特征数据、3 维模型数据、纹理数据等。在无人机仿真地形场景创建中, 采用 5 m 数字高程数据和 19 等级的数字遥感卫星图片数据, 对纹理数据、高程数据、文化特征数据进行预处理, 通过 Global Mapper 软件进行投影和坐标变换^[5]。

2.1.1 坐标变换

纹理数据通过商业地图下载软件得到的大部分是墨卡托坐标系, 即投影坐标系; 而 Terra Vista 需要的是 WGS84 坐标系, 即地理坐标系。采用第三方软件 Global Mapper 进行墨卡托坐标系到 WGS84

坐标系的坐标变换。坐标变换就是将墨卡托坐标的纹理图片导入到 Global Mapper 软件中, 通过工具投影, 选择需要的坐标转换即可。

2.1.2 预处理

纹理数据和高程数据通过商业地图下载软件获取, 大部分是 tiff 格式。Terra Vista 需要将其转化成 ecw 专用格式, 转换时需要选择压缩比。压缩比越大, 转换后的精度越差。文化特征数据通常是通过 GIS 软件获取, 其格式大部分是 shape 格式, Terra Vista 需要将其转换成 vec 专用格式, 这些格式是 Terra Vista 软件必需的格式。

2.2 矢量赋值与修正

在 3 维地形建模软件中分别导入纹理、高程、文化特征等数据。导入的矢量数据经过转换后, 生成专用格式矢量文件。通过赋予特定信息, 将该专用格式矢量文件数据表现成为实际 3 维实体。树木、房屋、标志牌等对应点实体; 管线、河流、道路等对应线实体; 城镇、森林、湖泊等对应面实体。为了能构建出复杂多样的地物地貌模型, 需将相关矢量分别按照其用途进行赋值^[6]。

赋值和修正主要是针对文化特征数据。shp 文件主要描述几何体的对象, 即点、线、面等, 保存了几何图形的位置及相关属性。将 shp 文件导入到 Terra Vista 后, Terra Vista 软件只知道这个文化特征数据是点、线、面以及位置, 并不知道属于哪种类型文化数据。比如导入的线文化数据, 在 Terra Vista 中可以将其指定为桥梁或是河流, 生成地形后在该位置就会产生桥梁或是河流, 即矢量数据的赋值。至于修正, 比如导入面文化特征数据, 在 Terra Vista 软件界面预览窗口的特定位置会出现红色的多边形, 即导入的面文化特征数据。这个多边形可能会与实际的文化特征数据的多边形不同, 比如这个面文化特征数据被赋值为湖泊, 但与实际纹理数据的湖泊多边形有差异; 所以, 需要通过鼠标操作对多边形进行修正, 使导入的面文化特征数据与实际纹理尽量吻合。当然, 点和线文化特征数据也需要根据实际情况进行修正^[6]。

3 无人机仿真场景创建设计方法

3.1 地形参数设置

地形建模可为实时模拟仿真提供服务, 而计算机硬件渲染能力与模型精度之间是矛盾的。当视点距离模型较近时, 造成可视范围减小, 需要进行相

对精细的建模；当视点距离模型较远时，造成可视范围增大，可以进行相对简化的建模。采用多重 LOD 技术^[6]，通过设置可视距离、多重细节数量、网格大小以及各网格三角网密度等，可以生成适合计算机硬件渲染能力的地形模型。构造地形多重细节，这里采用 4 叉树分层递进方式，第 1 层将第 0 层的 1 个地形网格划分为 4 个网格，第 2 层将第 1 层的 1 个地形网格划分为 4 个网格，每层中各网格三角形数据量是相同的^[6]，4 叉树分层递进原理如图 1 所示。同时，影像纹理也可在地形网格划分的基础上进行重新采样，输出的纹理图片对应着与每层地形网格相应网格精度和大小，从而协调了显示速度与渲染量^[6-8]。

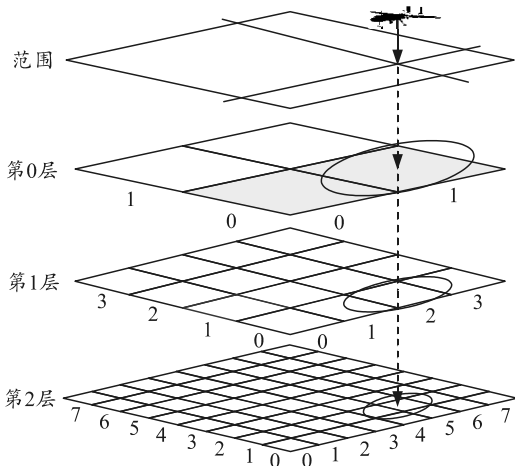


图 1 4 叉树分层递进原理

地形建模底层技术支撑是 MetaFlight 数据模型。MetaFlight 数据模型在地形数据库生成系统和运行系统之间传递地形数据。数据库对象是一个根容器对象，聚合所有数据集对象和其他顶级对象类型。MetaFlight 数据库对象包含了很多个数据集，所以数据集是 MetaFlight 中重要组成部分。所有的 MetaFlight 对象都由数据集对象使用或引用。

数据集是描述地形数据库内容的元对象。数据集通过将元数据与文件系统中的文件或文件夹关联来描述数据。有 2 类数据集，即列表数据集和网格数据集。列表数据集是一个抽象类，表示不按空间组织的文件的简单集合；网格数据集也是一个抽象类，该数据集被细分为一个多级网格，称为网格堆栈。网格堆栈在空间上划分地理区域(盖范围)并将索引绑定到磁盘上符合文件名模式所描述的某些命名约定的文件。

列表数据集的功能是描述相关文件集合。将文件添加到列表数据集后，可以使用接受列表数据集

作为输入的工具对该文件进行操作。列表数据集的结构非常简单，只是一个文件名列表。相对于数据集中定义的卷和路径，列表中的所有文件都应存在于文件系统中。文件名可以包含任意子目录层次结构。列表数据集包括通用列表数据集和模型列表数据集。

1) 通用列表数据集。

通用列表数据集是列表数据集的最简单形式，只包含所有数据集通用的属性(述、数据集名称、数据集标题、卷和路径)文件名列表。

2) 模型列表数据集。

模型列表数据集只比常规列表稍微复杂一点，为每个文件名添加 1 个唯一的模型名。模型名的作用域是数据集本身，即单个数据集中的所有模型名必须是唯一的。模型名的目的是允许用户创建 1 个独立于文件名的名称引用系统。软件即可通过 MetaFlight 数据集的上下文引用模型。

对于网格数据集，所有网格类型的数据集都有 1 个网格堆栈对象，该对象定义地理覆盖范围、网格结构和文件名模式。这些对象结合在一起，可将地理坐标系中的位置映射到磁盘上的文件。这是用少量元数据描述大量文件的有用方法。运行时应用程序(如使用 Vega Prime LADBM 构建的应用程序)可使用此元数据来获取靠近观察者位置的数据块。主要有如下几种网格数据集。

1) 通用网格数据集。

通用网格数据集是最简单的网格数据集类型，只包含所有数据集通用属性(描述、数据集名称、数据集标题、卷和路径)和所有网格数据集通用属性(文件格式、网格堆栈、覆盖率、网格结构、文件名模式和数据坐标系)。

2) 几何网格数据集。

几何网格数据集的目的是描述几何体的平铺，例如地形平铺、区域性层、灯光或任何其他空间组织的几何体。几何网格数据集向所有网格数据集的基本定义中添加层次结构类型属性、对切换范围表和网格级数据的引用。网格级数据提供有关网格结构的每个级别的信息。

3) 虚拟纹理数据集。

虚拟纹理数据集主要用于描述以平铺网格组织的虚拟纹理数据，可用于描述平铺的源数据，例如在边缘匹配的大面积图像平铺，该输出可以纹理映射到地形平铺。

虚拟纹理数据集将纹理属性添加到所有网格数据集的基本定义中。虚拟纹理属性包括通道数、每个通道的位数、纹理宽度和纹理高度。每个通道的通道数和位与文件格式一起使用，以描述如何读取纹理数据。例如，RGB 图像有 3 个通道，每个通道 8 位。“纹理高度”和“纹理宽度”属性指定整个纹理的大小(以图像像素为单位)，即填充覆盖区域的像素数。网格结构定义了如何将纹理解分为单个图像文件。例如，如果纹理是 20 000×30 000 像素，网格结构有 20×30 个单元格，则每个图像文件将有 1 000×1 000 像素。

虚拟纹理数据集可以有多个级别，MetaFlight

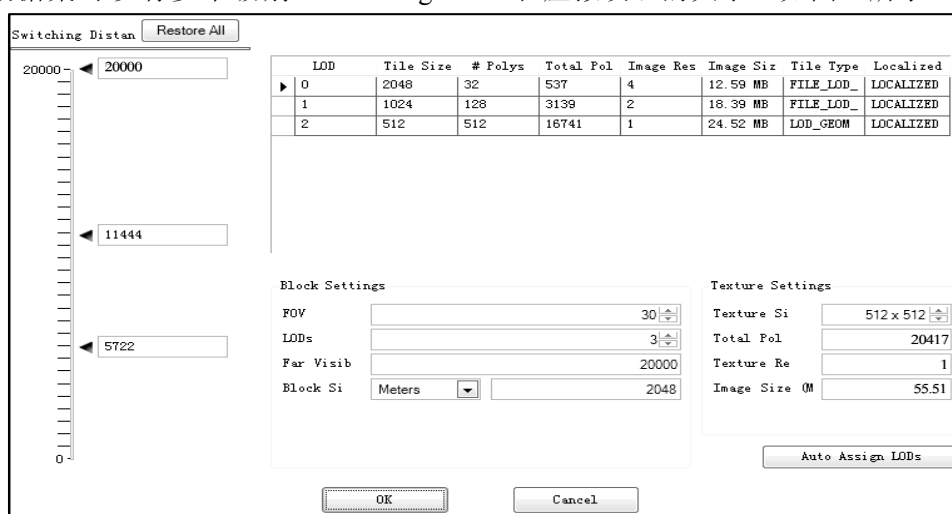


图 2 地形参数设置

如图 3 所示，文中 LOD 个数为 3 个，LOD3 的距离是 1 430 m，LOD2 的距离是 2 860 m，LOD1 的距离是 10 000 m，虚拟纹理的大小为 512×512 像素，采样间距为 2 048 m。

Terra Vista 软件会根据上面地形参数的设置自动计算出各层的网格个数和虚拟纹理的数量，此处选择 MetaFlight 文件输出，Terra Vista 创建完成后会在本地硬盘建立 MetaFlight 文件和目录。

3.2 MetaFlight 文件

MetaFlight 文件采用 XML 语言来描述地形数据库。采用 XML 语言描述地形数据库的 MetaFlight 文件本身并不包含具体的几何形状数据，主要描述了构成数据库的众多文件(flt 格式)的组织形式。采用 XML 语言描述的地形数据库的 MetaFlight 文件是在地形数据库生成工具 Terra Vista 和 Vega Prime 之间起到桥梁的作用，通过 MetaFlight 文件，Vega Prime 可方便有效地对大地形进行动态加载和显示。

业务规则要求每个后续的高分辨率级别的纹理高度和宽度正好是前一级的 2 倍。这样可以确保级别形成正确的 MIP 级别。

4) 矢量网格数据集。

矢量网格数据集是一种用于描述文化特征矢量数据层的数据集，主要是按主题名称引用形状文件的名称。例如，级别 0 可有“树”的名称，级别 2 可有“道路”的名称，级别 3 可有“河流”的名称等。

根据区域大小、纹理精度及无人机飞行仿真时的飞行高度确定 LOD 个数及距离、网格采样间距和虚拟纹理的大小，如图 2 所示。

3.3 地形输出

经过上述步骤，对所有数据进行创建输出，数据集指的是针对地形文件输出而言，采用 Terra Vista 的 MetaFlight 格式进行输出，会输出通用网格数据集、几何网格数据集、虚拟纹理数据集、矢量网格数据集，这些数据集 MetaFlight 文件进行管理，使 3 维引擎仿真软件 Vega Prime 中动态加载地形数据。如果采用其他的地形制作软件或是输出格式不是 MetaFlight，则只会输出通用网格数据集。该格式将所有数据合在 1 个数据集当中，在 3 维引擎仿真软件 Vega Prime 加载时只能一次性加载，如果地形面积较大，需要计算机有非常大的内存，且加载时间很长。

通过对比测试：参数设置一样、面积为 100 km² 的地形，采用 MetaFlight 输出，在 Vega Prime 加载时长为 15 s，采用其他格式输出在 Vega Prime 加载时长为 2 min。

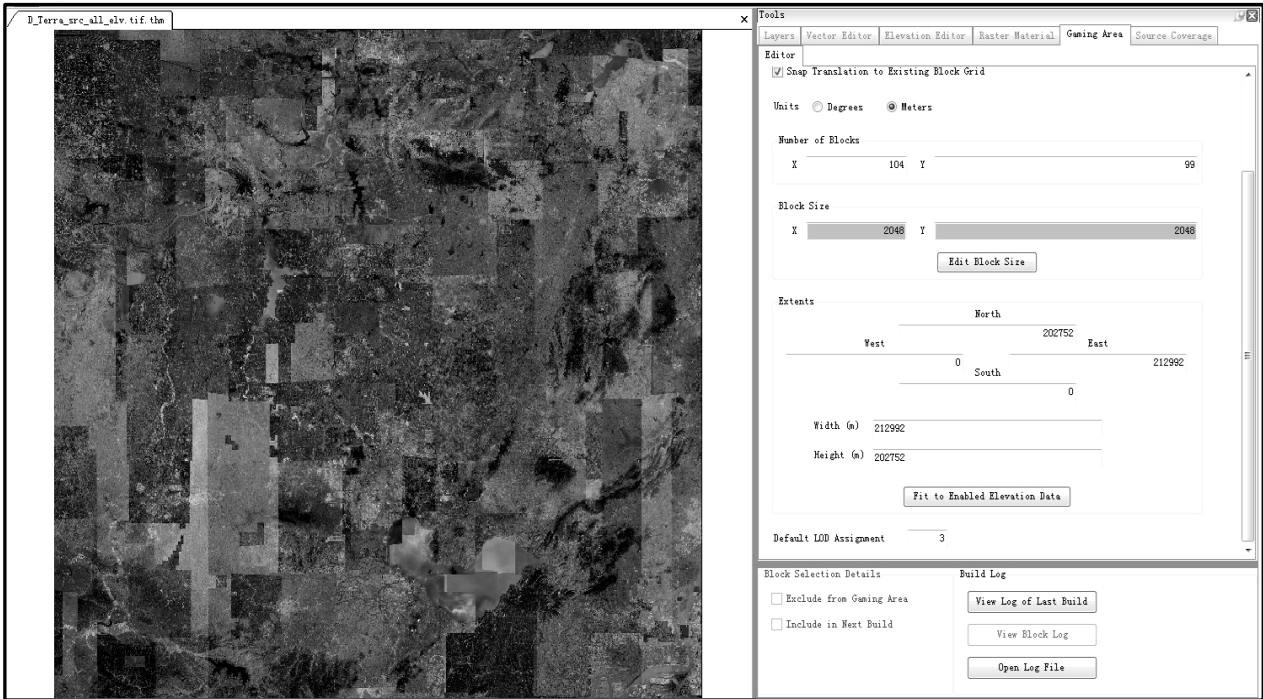


图 3 Terra Vista 大地形仿真场景创建界面

4 结束语

无人模拟训练具有成本低、风险小、效益高的优点，可解决无人机实际飞行训练受成本、风险、天气等因素影响的问题。大地形视景仿真作为无人机模拟训练的关键技术之一，受到广泛关注；笔者利用 Terra Vista 视景仿真平台，基于 LOD 技术原理，设计了无人机模拟训练大地形仿真场景创建过程和方法。测试结果表明：该方法可在较短时间内创建大范围地形地貌场景，满足无人机模拟训练的使用要求。

参考文献：

[1] 陈龚. 无人机协同路径规划 3 维实时可视化仿真平台 [D]. 南京: 南京理工大学, 2017.

[2] 贾家宁, 盖科龙, 梁天. 大载荷无人机安全着陆纵向控制策略[J]. 兵工自动化, 2020, 39(1): 16-18.

[3] 吕游, 周晓光, 张家叶子. HBase 在飞行模拟训练数据存储中的应用分析[J]. 兵工自动化, 2020, 39(5): 19-22.

[4] 郭垒. 大规模 3 维地形仿真研究[D]. 南京: 解放军信息工程大学, 2012.

[5] 田君良, 谢云开, 唐小贝, 等. 基于 Terra Vista 的真实大地景模拟仿真[J]. 指挥控制仿真, 2013, 35(1): 83-86.

[6] 张尚弘, 张超, 郑钧, 等. 基于 Terra Vista 的流域地形 3 维建模方法[J]. 水力发电学报, 2006, 25(3): 36-39.

[7] 崔巍, 杨开林, 谢省宗, 等. 基于 Terra Vista 的调水工程大规模 3 维地形建模技术[J]. 水力发电学报, 2009, 28(4): 154-158.

[8] 李建章, 杨学超. 基于 Terra Vista 构建 3 维虚拟场景[J]. 兰州交通大学学报, 2012, 31(1): 14-17.