

文章编号：1005-8451(2011)11-0001-04

列车运行仿真中地形视景的生成

侯福生，郎诚廉

(同济大学 电子与信息工程学院，上海 200331)

摘要：地形实景模型的生成对于提高视景仿真的周边场景真实度具有重要影响。其关键技术包含获取高程数据，建立三角化地形模型和地形贴图等。本文利用 Multigen Creator 作为处理平台，以上海磁悬浮铁路作为仿真对象，对建立线路周边地形模型的各个环节进行详细的对比，提出优化方案，较好地提升了线路周边地形模型的精度和仿真度。

关键词：地形建模；Multigen Creator；虚拟现实

中图分类号：U270 : TP391.9 **文献标识码：**A

Generation of terrain visual in train driving simulation

HOU Fu-sheng, LANG Cheng-lian

(School of Electrical and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 200331, China)

Abstract: The generation of terrain model played an important role in rail-vehicle driving simulation, and it contributed to improve the realistic appearance of surrounding scene in visual simulation. The key technologies included acquiring elevation data, setting triangulated terrain model and mapping the terrain texture. In this paper, Multigen Creator was for processing platform. Shanghai Magnetic Suspension Railway was taken as simulating object. The stages of setting surrounding terrain model were compared in detail. The optimized scheme was proposed. The accuracy and realistic degree were apparently improved.

Key words: terrain model; Multigen Creator; virtual reality

根据我国高速磁浮国产化研究的总体思路和步骤，计划于“十二五”期间在上海磁悬浮示范线上选择或新建一条轨道，对具有自主知识产权的国产化列车及其运行控制、牵引控制系统，在高速运行环境下进行一系列工程化应用试验。为此需要研制一套由运行、牵引控制系统主体设备及其外围仿真环境组成的半实物仿真集成试验系统，重点解决和掌握工程应用条件下磁浮列车关键技术问题及系统集成技术，并完成试验室仿真环境下的测试验证。

1 方案概述

视景仿真的地形模型利用 Multigen Creator 软件套装的地形生成组件进行半自动生成。主要步骤包括：(1) 根据项目选择目标区域，确定精度要求；(2) 制备符合精度要求的高程数据；(3) 选择合适的算法进行三角化模型生成；(4) 调整参数以满足初始要求；(5) 准备相应区域的地形地

物纹理，进行贴图。

软件平台：Multigen Creator, global mapper, google earth 等。

硬件平台：dx2390 工作站。

2 确定目标区域及地形精度要求

上海磁悬浮线路西起上海地铁 2 号线龙阳路站，东至浦东国际机场，线路全长 30 km，地形区域设为矩形，其西北角坐标在龙阳路西北侧，东南角坐标在浦东国际机场候机楼东南侧。

地形模型的精度判定，应从原始 DEM 数据的选择、三角化算法的选择、后期处理的过程考虑。地形变化较大时，采用 30 m 精度和 90 m 精度生成的模型差别非常明显。

地形模型精度判定采用的误差测度包括局部熵、二次误差矩阵、豪斯道夫距离、屏幕空间距离等，为了与软件平台相适应，在选定 30 m 精度的原始高程数据情况下，通过计算生成模型中各个高程点到其毗邻最近多边形的距离的均方根，公式(1) 为偏差 E 的计算公式，其中 N 为高程点的

收稿日期：2011-01-21

作者简介：侯福生，在读硕士研究生；郎诚廉，教授。

个数, D_i 为高程点距离最近毗邻多边形中心的距离。初步要求其偏差不超过 1 m。

$$E = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N D_i^2} \quad (1)$$

3 地形高程数据的来源及对比

数字高程模型 (digital elevation model) 是表示区域上的三维向量有限序列, 每一个选定的平面坐标都对应其各自的高程信息。高程数据来源主要分为地形图, 以及摄影测量和遥感影像数据两大类。

3.1 地形图

地形图主要通过代表不同高度的等高线表示地物高度和地形的起伏, 并加入了等高线无法表达的地貌特征, 如悬崖, 山顶, 河流等。

目前, 国家基础地理信息系统提供的 1:400 万和 1:100 万的等高线数据, 依然在建设之中, 因而无法得到所需区域的地形图数据。此外, 其精度和可靠性远远不能满足项目要求。因此, 这一途径并不可行。

3.2 摄影测量和遥感影像数据

主要用于快速获取或更新大范围区域的 DEM 数据, 是目前较为主流的来源。不同的影像来源获得的 DEM 数据精度不尽相同。提供全球范围内地形数据的来源如表 1 所示。

表 1 高程数据影像来源对比

来源机构	名称	覆盖范围	精度	投影方式
NASA	ASTER-GDEM	地球陆地表面的 99%	30 m (可免费获取) SRTM-1 为 30m	WGS84
NASA&NGA (NIMA)	SRTM	地球陆地表面的 80%	(尚未公开) SRTM-3 为 90m (可免费获取) DTED-0 (900m)	WGS84
NGA (原 NIMA)	DTED-0 DTED-1 DTED-2	地球陆地表面的 80% 左右	DTED-1 (90m) DTED-2 (30m) (DTED0 可免费获取)	WGS84
Gtopo30	Gtopo30 DEM	地球陆地表面的 80% 左右	30ARC(弧秒) 约 1km	WGS84
Globe (ArcView)	TheGlobal Land One-km Base Elevation	地球陆地表面的 80% 左右	多种 (但全球范围的高程数据分辨率 30 ARCk, 约 1 km)	WGS84

文中提及区域的 30 m 精度和 90 m 精度的高程数据对比如图 1、图 2。

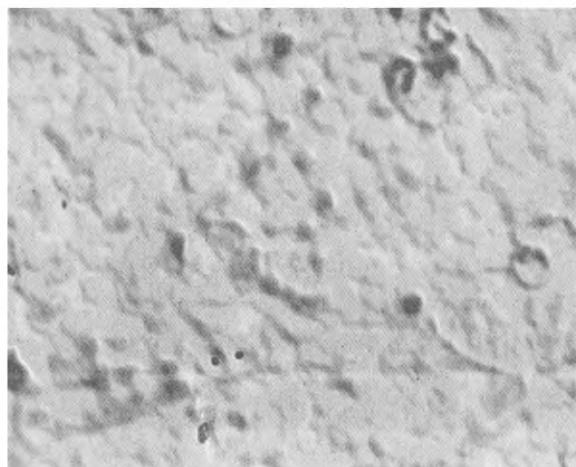


图 1 ASTER GDEM, 30 m 精度

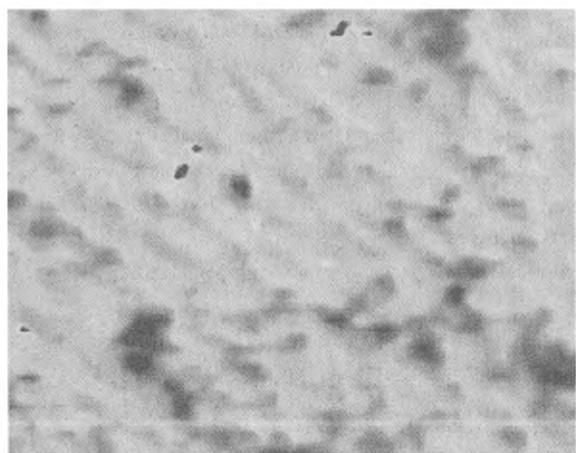


图 2 SRTM, 90 m 精度

如果需要更高精度的 DEM 数据, 可以对目标区域进行航空激光雷达 (LIDAR) 测量获得的数据进行提取, 成本相对较高; 也可以从诸如 Digital-Globe 这样的商业卫星图像公司购买其 DEM 数据, 精度可达 1 m。

3.3 数据来源选择

出于成本和实际需求的考虑, 决定采用 ASTER-GDEM 作为数字高程模型的数据来源。

4 高程数据的预处理

由于 ASTER GDEM 的原始数据最小范围是 $1^\circ \times 1^\circ$, 所以需要使用遥感图像处理软件提取目标区域内的数据。这里采用 Global mapper 这一软件来实现所需的功能。

5 制备地形地物纹理

地形地物纹理主要用于表现所在区域的地面特征，方便后期作为地物建模的参照，增强周边环境的真实感。对于距离线路较远的区域，不必建立细致的模型；对于线路两侧的景物，则需要根据需要进行细致的建模。纹理图像可以使用卫星地图来实现。

6 地形转换算法选择及相关参数设置

地形转换算法对比如表 2 所示。

表 2 地形转换算法对比

算法	适用范围	特点	缺点
Polymesh	采用 BSP 显示方式的实时系统	提供了规则和不规则三角形化两种转换方式，(LOD) 出现不连续速度较快。	平地过度网络化，不同细节层次容错检测。
Delaunay	用 Z-buffer 显示方式的实时系统	可以控制多边形数量和最大地形精确度。	地形多边形数量有限制并且无法预测，LOD 边界匹配会出现过多三角形。
TCT (terrain culture triangulation)	采用 Z-buffer 显示方式的实时系统，且能够获得相应场景的地物数据 (DFAD)	允许地物细节铺设，使其成为地形的一部分而非覆盖地形上面。	地形多边形数量有有限制并且无法预测，只允许有一个 LOD

除了要满足仿真的要求外，转换算法必须与硬件相兼容。采用的显示方式是 Z-BUFFER，选择 Delaunay 算法或 TCT 算法。由于无法获得涉及区域的地物数据，采用 Delaunay 算法进行三角形化转换。

为了满足预期的地形精度要求，使最终的偏差测度 E 不超过 1 m，需要对相关参数进行调整：(1) 设置经纬度方向高程点采样间隔为 10 m；(2) 优先选择高程数据进行匹配；(3) 针对不同的地形特点进行调整。

7 地形模型贴图

对于地形贴图，Creator 提供了多种方法，包括以下几种：

(1) 针对不同的海拔指定相应的纹理，通常用于生成野外的地形图模型。

(2) 通过地形窗口中的纹理调版，指定一个预先制作好的地形纹理，其包含了真实的地理坐标，以及与之对应的纹素坐标。

(3) 间接纹理贴图。通过特定文本文件中预先指定好的规则，将诸如颜色、纹理和材质这些属性分配给对应颜色的地形多边形。

(4) 地形模型生成后，在纹理调板中导入地形纹理，调整为 group 模式，选中模型后使用 GeoPut Texture Tool，即可将纹理覆盖到地形模型上。

8 生成结果分析

通过以上步骤可以生成所需区域的地形模型，选择其中一块区域进行对比测试，其西北角坐标为东经 121.585350°，北纬 31.184383°，东南角坐标为东经 121.639986°，北纬 31.145874°。

在参数设置相同的情况下，分别使用 ASTER-GDEM 和 SRTM 高程数据生成测试区域内的地形模型，最终其平均偏差测度 E 均为 5 m 左右，最大偏差 Emax 有所不同。利用 ASTER-GDEM 数据生成的模型，其 Emax 比利用 SRTM 生成的模型小大约 15 m。此外，由于 SRTM 高程数据的采样精度为 90 m，相比 ASTER-GDEM 的 30 m 精度具有明显的劣势，在细节的表现上存在着不足。图 3 和图 4 为分别使用 ASTER-GDEM 和 SRTM 高程数据生成的模型俯视图，图 5 和图 6 分别为其侧视图。

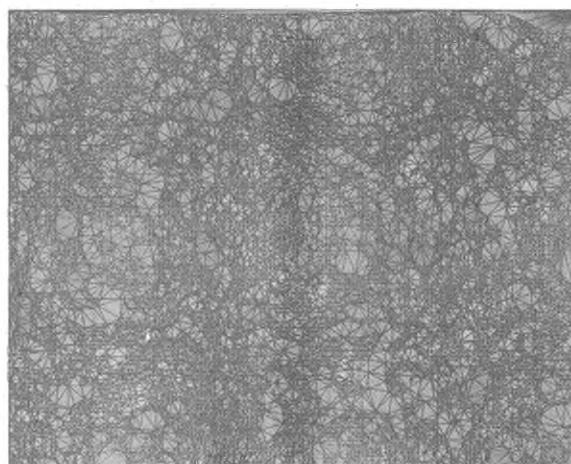


图 3 ASTER-GDEM 生成模型俯视图

(下转 P7)

- [1] 王静, 田丽, 蒋慧. 基于遗传算法的RBF网络的短期电力负荷预测[J]. 电子技术, 2010 (4): 15-16.
- [2] 张玉瑞, 陈剑波. 基于RBF神经网络的时间序列预测[J]. 计算机工程与应用, 2005 (11): 74-76.
- [3] 施彦, 韩力群, 廉小亲. 神经网络设计方法与实例分析[M]. 北京: 邮电大学出版社, 2009.

- [4] 何迎生, 段明秀. 基于RBF神经网络的时间序列预测[J]. 吉首大学学报(自然科学版), 2008, 29 (3): 52-54.
- 责任编辑 陈蓉

(上接 P3)

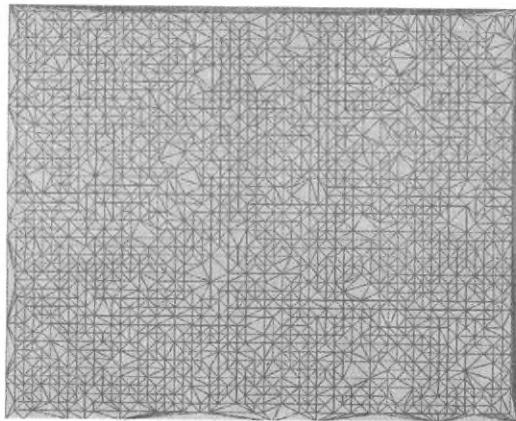


图4 SRTM生成模型俯视图

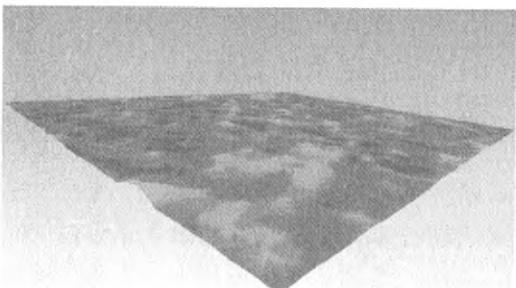


图5 ASTER-GDEM生成模型侧视图

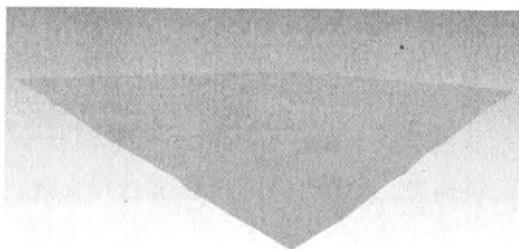


图6 SRTM生成模型侧视图

将地形模型进行贴图的优势是可以方便的将线路进行定位，并且在布置周边景物时，便于确定周边场景的地物位置和地物类型。使用ASTER-GDEM高程数据，将采样间隔定为30 m，并进行贴图后得到的地形模型如图7。

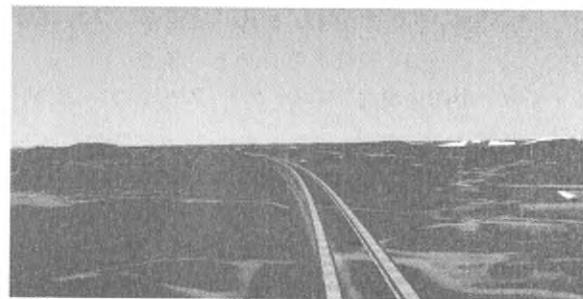


图7 地形模型最终效果图

9 结束语

本文以上海磁浮线路周边地形作为仿真对象，对利用 Multigen Creator terrain pro 组件生成地形仿真模型的各个步骤进行了较为详细的分析，并通过对各环节进行对比，提出优化方案，进而提升了模型的精确度和仿真度。列车线路周边实景地形仿真模型不仅可以应用在轨道交通驾驶仿真领域，而且对于军事领域的相关应用也有着较高的参考价值，因此本文将有助于进一步完善利用 Multigen Creator 软件平台生成实景地形模型的一整套方法。

参考文献：

- [1] Multigen-Paradigm, Inc. Creating Terrain for Simulations[M]. USA: Multigen-Paradigm, Inc, 2004.
- [2] 王乘, 周均清, 李利军. Creator 可视化仿真建模技术[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.
- [3] 张祖勤, 张剑清. 城市建模的途径与关键技术[J]. 世界科技研究与发展, 2003, 25 (6): 23-28.
- [4] 丁斌, 祖家奎. 三维可视化中的地形建模与实现技术研究[J]. 计算机仿真, 2008, 25 (12): 212-215.
- [5] 张寅宝. 三维地形多分辨率建模与精度评估[D]. 郑州: 解放军信息工程大学硕士论文, 2006.
- [6] 朱婷婷, 翟婉明, 赵春发. 磁悬浮线路景观三维几何建模[J]. 交通运输工程与信息学报, 2006 (1): 56-59.

责任编辑 陈蓉