# 面向景观规划设计的数字地形交互式编辑技术

李界光，唐丽玉，陈崇成，邹　杰，林　定

（福州大学福建省空间信息工程研究中心 数据挖掘与信息共享教育部重点实验室，福州 350002）

**摘要**：数字地形编辑是虚拟地理环境、三维景观仿真系统中一个重要的研究内容，在城市与乡村、区域道路网、风景园林的数字化规划设计实践中具有重要价值。本文以规则格网的数字地形为研究对象，面向城市和园林景观规划设计中的实际应用，提出了交互式数字地形编辑的解决方案，重点给出了分页技术的地形交互式编辑具体过程和相关的主要实现技术。数字地形编辑的实现，首先，通过鼠标交互式操作，结合射线求交算法，在地形表面选取目标编辑区域；然后，结合夹角之和检测算法，获取区域下地形数据，设定新的地形高程值，最后，将编辑操作传输至地形其他层，更新整个地形，并在地形编辑后，采用方格网计算法，统计出区域下地形填挖方量。此外，在经过平整的地形区域，植入树和三维建筑模型，构建虚拟城镇小区景观。本文初步实现了编辑操作功能的计算机软件，并展示了数字地形编辑在城镇小区景观设计中的应用结果。试验表明，基于规则格网和分页技术的数字地形编辑方法具有算法简单、计算量小、易实现等特点。此外，通过鼠标交互式的操作，能够实时、直观地显示编辑结果，达到“所见即所得”的效果。

**关键词**：数字地形；规则格网；分页技术；交互式地形编辑；景观规划设计

**DOI**：10.3724/SP.J.1047.2012.00179

## 1　引言

数字地形编辑是在地形可视化基础上进行的地形数据修改操作，是虚拟地理环境、三维景观仿真系统中一个重要的研究内容。在城市与乡村、区域道路网、风景园林的数字化规划设计实践中往往需要对建设场地进行平整或填挖处理[1-2]，并将建筑、植被、交通等要素的三维几何模型设置在平整后的区域。有时还要满足开挖隧道、架设桥梁、填挖土方等需求。这些都要求对三维数字地形进行适当地编辑处理，包括地形抬高、削低、整平等一系列的操作，以充分展现该建设工程的规划设计方案，最终达到实际工程建设的要求。

目前，数字地形常见的组织方式主要有：规则格网（Regulation Grid）结构、不规则三角网（Triangulated Irregular Network，TIN）结构、等高线（Contour）结构。由于不规则三角网数据结构复杂、计算量大而不常采纳；规则格网数据结构简单、计算量小、数据组织管理较为便利，自动化数据采集程度高，与遥感和栅格 GIS（Geographic Information System）紧密结合，组织方式实现简单，效率高，因而是数字地形主要采用的组织方式[3]。数字地形可视化基本采用不规则三角网和规则格网的两种实现方法。数字地形编辑存在不规则格网和规则格网的编辑[4]两种具体实现途径，因而成为数字地形编辑的主要实现途径。近 20 年来，数字地形编辑在动漫游戏平台、虚拟仿真系统、工程应用模拟系统中已经取得很大的进展，涌现了大批优秀的数字地形编辑工具，如三维应用与游戏中间件 TrueVision3D[5]、开源游戏引擎 OGRE 地形编辑工具 Ogitor、商业游戏引擎 Unreal 的场景编辑器 Epic[6]；在地理分析与地形表达领域，有三维景

**收稿日期**：2011-12-21；**修回日期**：2012-03-20.

**基金项目**：国家自然科学基金项目（30972299，41001203）；福建省自然科学基金项目（2010J01203；2011J05108）；欧盟第七框架项目（FP7-PEOPLE-2009-IRSES，No. 247608）。

**作者简介**：李界光（1983-），男，江西吉安市人，硕士研究生，研究方向为地学可视化与虚拟地理环境、数字地形、计算机图形学，E-mail：lijieguang2124@sina.com

＊**通讯作者**：唐丽玉，副研究员，博士，主要从事地学可视化与虚拟地理环境、虚拟植物方面的研究。E-mail：tangly@fzu.edu.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

观设计工具 EarthSculptor、虚拟场景设计软件 WorldBuild 等;在城市规划设计领域,国内的主要有众智软件公司的 CityPlan、鸿业科技公司的交通设计软件 HY-TFD、国外的有 Skyline 中的地形编辑模块,以及地形编辑与道路设计工具 FreeWorld3D 等。数字地形编辑不仅能够实现对现实地形的修改操作,同时还能创建和规划出各种未来发展或布局方案。通过场景编辑器软件,能够模拟出各式各样的、逼真的三维场景[7],给人以极大的视觉冲击,直观体验未来发生或出现的建设发展蓝图。

传统的数字地形可视化绘制是以 OpenGL 图形标准开发的。OpenGL 的空间数据组织比较简单,但使用过程较复杂,开发大规模三维场景比较困难。开放式场景图形引擎(OpenSceneGraph,OSG)具有功能完善、使用简单、性能优越等系列优点[8],在仿真系统、城镇规划设计等工程中有着广泛的应用前景。为满足城镇和园林景观规划设计的实际需求,本文以 OSG 为支撑,研究数字地形的交互式编辑技术,试图在分析数字地形编辑原理的基础上,提出数字地形交互式编辑的具体实现技术,并结合城镇和园林景观规划设计和工程施工,实现以数字地形编辑为核心的城镇景观规划设计软件模块。

## 2 数字地形交互式编辑原理

数字地形编辑是在地形可视化基础上,对原始地形数据的编辑修改进行的。数字地形可视化是地形编辑的基础,是虚拟地理环境或虚拟场景构建的关键技术之一[9]。由于数字地形通常规模巨大,实时绘制问题仍未能完全解决。常用的数字地形实时绘制主要采用层次细节(Level of Detail,LOD)技术[10],它是一种通过不同分辨率来表示地形模型的技术,用以有效简化地形数据。比较常见的 LOD 算法有自适应网格(ROAM)算法[11]、视点依赖递进格网(VDPM)算法[12]、几何裁切图(Geometry Clipmaps)绘制算法[13]等。近年来,出现了地形分页绘制技术,这是针对大规模海量地形数据无法一次性载入计算机内存而提出的,该方法先将地形数据存储在硬盘,绘制时以内外存数据交换调度的方式执行,因此,不少研究者提出了基于外存调度的地形绘制技术。Lindstorm 提出了基于外存技术的地形绘制技术[14]。唐勇介绍了基于视点相关的外存技术来绘制大尺度地形的方法[15],Goswami 提出基于外存技术的大规模地形并行绘制技术[16]。地形分页技术,能够有效解决数据组织和数据动态调度问题,可以实现大规模场景的实时加速绘制。其基本原理是:首先,将地形按一定大小进行分页划分,然后,对地形页进行分层分块分割,建立多分辨率瓦片金字塔数据结构。其中,金字塔最顶层表示最粗糙的地形数据,以下每层则按照四叉树结构继续分割成 4 个子块。在实时漫游过程中,通过计算不同细节层地形块离视点的距离大小来判断地形页的加载与卸载。位于视点范围内则加载,在视点范围外则卸载,以达到地形数据的实时加载与卸载。

本文主要针对规则格网数据中格网点高程值的修改,力图通过鼠标的交互式操作,构建编辑区域,拾取编辑区域内部的地形数据,并修改区域内地形高程值,最后,将编辑操作传输至其他不同分辨率层,以更新不同层 LOD 的地形数据,达到实时地更新整个场景的目的,以及在编辑基础上进行区域挖填方量计算。

## 3 数字地形的交互式编辑技术

数字地形编辑是场景编辑器中重要的功能模块。本文所介绍的数字地形交互式编辑技术,主要包括地形建模、编辑区域选择、地形数据修改,以及数据的传输与更新等几个步骤。

### 3.1 基于规则网格的地形建模

OSG 是一个跨平台的三维图形绘制引擎,使用简单、性能优越、功能强大,其中提供了比较完善的基础类库。本次研究中,主要使用基于 OSG 的第三方地形构建工具 osgEarth 实现虚拟地形可视化建模。osgEarth 采用地形分页技术实现大规模地形数据的组织和绘制,其算法思想是:采用四叉树数据结构,对地形数据和影像数据进行分层分块,构建数字地形和影像高分辨率金字塔,生成数字地形瓦片(Tile)数据,建立不同 LOD 层次地形块节点[17]。渲染时,结合 OSG 分页数据库(DatabasePager)的实时调度策略,依据视点与地形块的距离,实现地形块节点在三维场景中实时加载与卸载,实现地形数据的实时动态调度。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

### 3.2　编辑区域的选择

根据不同情况,数字地形编辑可以分为两种方式:一种是对单个格网点高程值的修改,一种是对区域内所有格网点高程值统一修改。单点修改主要针对地形部分格网点的平滑、精细修砌等处理,但实际应用中多数情况是针对区域的地形编辑。区域的地形编辑,首先,需要构建一个待编辑的目标区域,然后,统一修改整个区域内点的高程值。编辑区域根据需要可以定义为不同的形状(如方形、圆形、椭圆形、任意多边形),编辑时根据不同区域分别执行不同的编辑操作。本次研究初步设定了 3 种编辑区域,分别是方形、圆形和多边形。

构建区域是通过鼠标的交互操作来圈定的。对于方形和圆形区域,以鼠标拾取点为区域中心,一定边长或半径构建区域,其中,边长或半径可以由用户自定义设定;而在构建多边形时,通过鼠标在地面上经过一系列拾取操作实现。拾取时根据射线求交原理,将鼠标二维屏幕坐标转化为场景三维坐标,并以转化后的三维坐标与场景相机视点为射线。将此射线与地形格网做射线求交,计算交点,最后,通过图形渲染引擎将所有交点连接成多边形区域。

### 3.3　地形高程值的修改

虚拟三维场景中,数字地形编辑是通过修改地形数据实现的,包括地形格网点的增加和删减,以及原始地形高程值的修改。其中,原始地形高程值的修改是地形编辑的主要内容之一。

地形高程值编辑包括两个关键步骤。其一,获取目标区域内地形块数据;其二,判断地形块格网点是否在编辑区域内,若在区域内,则修改其高程值。

(1) 获取目标区域内地形块数据。通过比较目标区域与地形块范围,可以得到位于目标区域内地形块的起始和终止行列号。通过此起始和终止行列号,则可获得每个格网点的横向、纵向坐标值,进而获取地形格网点原始高程值。编辑目标区域与地形块区域的关系如图 1 所示。

图 1 中,红色区域表示所定义的目标区域,蓝色线为四叉树地形块的分割线。地形格网的行列号,以及格网点的 X、Y 坐标值采用公式(1)-(3)进行计算。

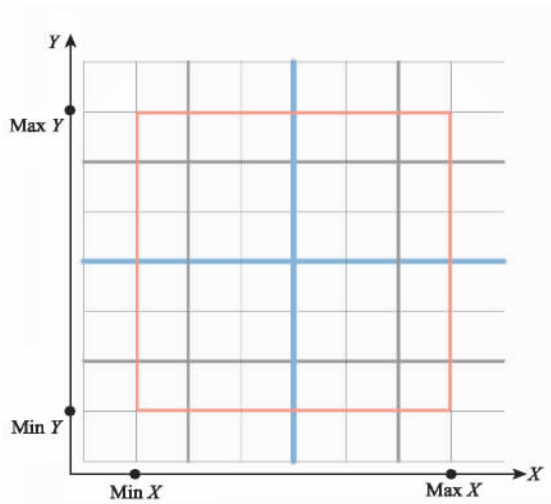



图 1　编辑区域与地形块区域的关系

Fig. 1　Relationship between the edited region and terrain tile

$$\begin{cases} Start_x = \dfrac{R_{\min x} - T_{\min x}}{T_{\text{interval}X}} \\ End_x = \dfrac{R_{\max x} - T_{\min x}}{T_{\text{interval}X}} \end{cases} \tag{1}$$

式(1)中:$Start_x$、$End_x$ 表示被区域所覆盖的地形块起始行号与终止行号;$R_{\min x}$、$R_{\max x}$ 表示目标区域最小、最大 $X$ 坐标值;$T_{\min x}$、$T_{\text{interval}X}$,表示地形块最小 $X$ 坐标值与 $X$ 方向上的格网间距。

$$\begin{cases} Start_y = \dfrac{R_{\min y} - T_{\min y}}{T_{intervalY}} \\ End_y = \dfrac{R_{\max y} - T_{\min y}}{T_{\text{interval}Y}} \end{cases} \tag{2}$$

式(2)中:$Start_y$、$End_y$ 表示被区域所覆盖的地形块的起始列号与终止列号;$R_{\min y}$、$R_{\max y}$ 表示目标区域最小、最大 $YS$ 坐标值;$T_{\min y}$、$T_{\text{interval}Y}$ 表示地形块最小 $Y$ 坐标值与 $Y$ 方向上的格网间距。

$$\begin{cases} Real_x = T_{\text{origin}x} + Row \times T_{\text{interval}X} \\ Real_y = T_{\text{origin}y} + Col \times T_{\text{interval}Y} \end{cases} \tag{3}$$

式(3)中:$Real_x$、$Real_y$ 表示地形块格网点的 $X$、$Y$ 坐标值;$T_{\text{origin}x}$、$T_{\text{origin}y}$ 表示原始地形块左下角坐标值(或者左上角);$Row$、$Col$ 表示格网点所在地形块的行列号。

(2) 修改地形格网点高程值。首先判断点与目标区域的位置关系。只有位于目标区域内部的点才实施编辑。判断平面上一个点是否包含在同一平面的一个多边形内,有多种算法,比如,叉积判断法、夹角之和检验法、交点计数检验法。叉积判断法只适用于凸多边形,对于任意多边形,夹角之和

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

检测法和交点计数法比较适用，故本文采用夹角之和检验法来判断点是否在多边形区域内。夹角之和检验法的原理是：若区域内任意点与边角点之间连线的夹角和等于360°，则可认为点在区域内部，否则点在区域外部。

按照上述原理，通过鼠标交互式操作，构建待编辑目标区域，并利用公式(1)-(3)获得选定区域内地形格网点的X、Y坐标值；通过格网点的X、Y坐标值，查找到地形格网点的原始高程值，再利用夹角之和检验法判断点是否在区域内部，如果在区域内部，即可重新设定地形格网点的高程值，以更改地形数据。

### 3.4 细节层间的数据传输与更新

由于地形数据是以分层分块的方式构建，不同LOD层之间存在着动态更新与调度问题，编辑时修改的只是当前某一细节层的数据，也就是当前场景中活动的地形数据。为了实现其他细节层数据的编辑，当前编辑层必须向其他各层传递编辑信息。如何实现编辑信息的传递，是数字地形实时编辑的关键。为了提高编辑效率，一般数字地形编辑采用的是由地形最精细层向其他各层传递编辑数据，以达到区域内各层的地形数据均能被编辑处理[18-19]。

为了进一步提高编辑效率，本文采用了多线程策略实现数据编辑与传递，即单独使用一个线程执行编辑操作，在线程中实现数据修改和各层之间的传播，与主线程分开执行，提高场景执行效率。地形编辑完成后，要对数据作更新，实时显示编辑效果，直观地展现数据编辑前后的差异。

### 3.5 挖填方的计算

实际工程建设中，常常需要将自然起伏的地形改造为水平或者具有一定坡度的平整场地，以便于布放各类建筑物、植被和交通等设施。在地形改造过程中，就涉及到区域土方量的计算问题。数字地形土方量计算主要有DTM法、方格网法、等高线法、断面法、区域土方量平衡法和平均高程法等。本文采用方格网法计算数字地形编辑操作后的土方量。

方格网计算土方量的方法是：每个格网的体积等于格网底面积与格网点高程和设计高程的差值的平均值之积。当体积呈正时为挖方，体积呈负时为填方。

由于地形数据是以规则格网表示，地形模拟存在失真现象，加之受到数据组织尺度和高程采样尺度的影响[20]，而且，为了满足精度需求，地形可视化时高程值需经过各种插值算法计算而得，因此，填挖方的计算结果与实际情况存在误差，只能近似表示其值。

## 4 编辑模块的软件实现与应用

### 4.1 软件实现的过程

编辑模块是在作者所属研究团队开发的虚拟森林场景可视化系统(VisForest)[21]基础上进行的。此系统是利用Visual Studio 2008开发环境，利用开源图形引擎OSG 3.0、ArcEnging二维GIS开发包开发而成，是个典型的二三维一体化虚拟森林场景可视化系统，不仅能够把真实的森林环境在计算机内直观重现，展现现实的植物、人工建筑物，以及其他景观要素，还能为区域景观规划提供三维设计支持，展现区域景观设计结果。本研究将数字地形编辑模块嵌入到VisForest系统中，为森林生态规划、城市和园林景观规划、道路交通规划等工程应用提供辅助工具。具体软件实现流程如图2所示。

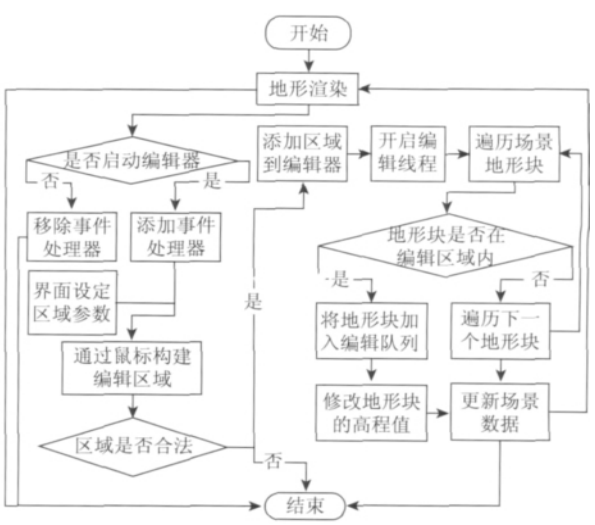



图2 地形编辑软件模块技术流程图

Fig. 2 Flow chart of the terrain editing model

(1)编辑区域的构建

在VisForest系统构建规则格网数字地形的基础上，启动地形编辑模块，并设定编辑参数，包括编辑模式(抬高、整平、减低等)、编辑区域(方形、圆

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

形、多边形模式)、编辑的设计标高等,通过鼠标交互式地操作,在地形上选取系列坐标点,用于构建编辑区域。其中,编辑区域的目标高度值,可以通过鼠标上下拖动编辑区域,使其达到规划设计的需求高度。

(2)地形点高程值的修改

构建好编辑区域后,即可进行地形高程值修改。图 3 为多边形区域模式下地形编辑效果图,其中,图 3(a)为鼠标交互式拖动区域,图 3(b)为区域编辑效果。

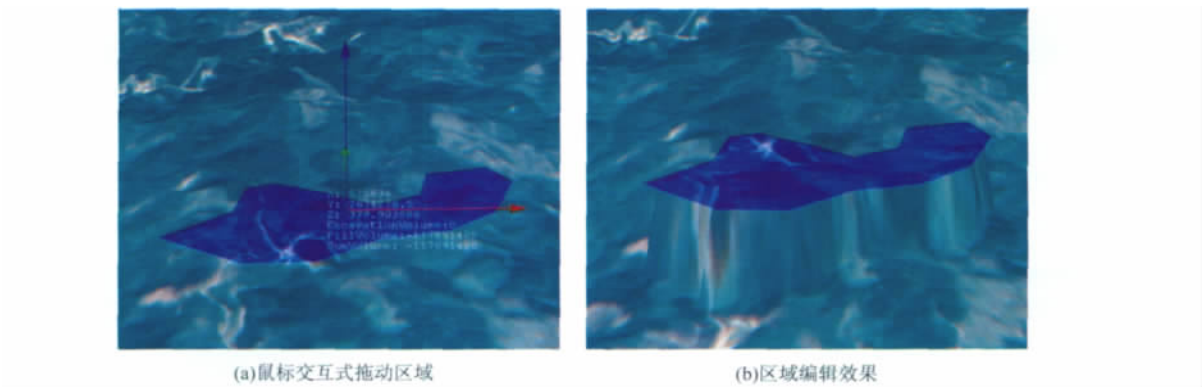



图 3　地形区域的编辑效果

Fig. 3　The editing result of the terrain region

(a: The mouse interactive drag area; b: the result of editting)

(3)区域纹理的映射

由于在公园、路面、小区等建筑区域内,地面往往会铺上地砖,所以,为了体现真实性,在地形编辑处理后,需要对编辑区域进行纹理映射,以更逼真地展示。图 4 为区域编辑后贴上地砖纹理效果图。

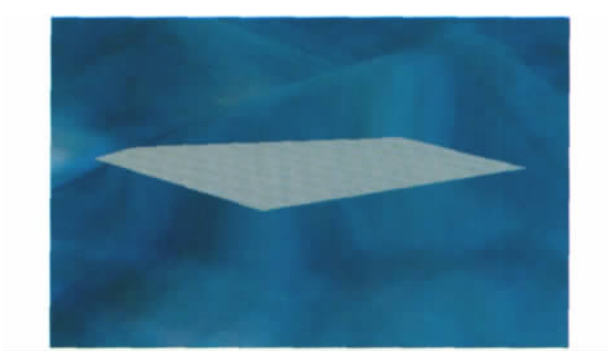


图 4　编辑区域的纹理贴图

Fig. 4　Texture mapping of the edited region

## 4.2　应用的案例

利用三维数字地形分析与编辑技术来辅助各类景观规划设计,现已成为虚拟现实与地理信息系统领域的一个重要应用方面。图 5 是 VisForest 界面,展示了一个以地形编辑模块实现的虚拟小区规划设计的三维效果。其中,场景主要包括数字地形、建筑群、景观行道树等要素,小区地面是经过地形修整后映射上地面纹理。各种树模型是通过本小组开发的参数化单树建模工具 ParaTree[21] 建立的,建筑物模型是通过第三方软件建立的,然后交互式地将树和建筑物模型放置于三维数字地形上,形成三维场景。

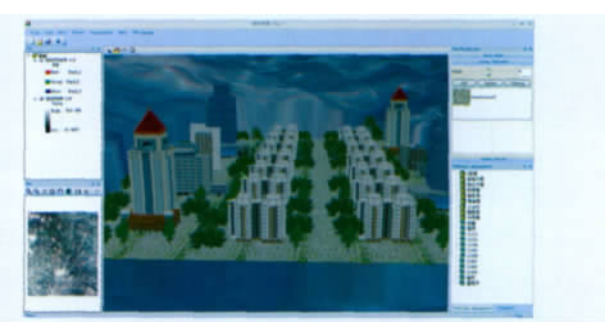


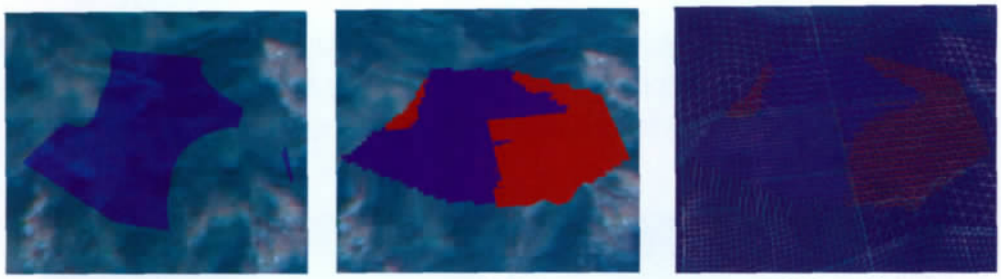
图 5　区域景观设计示意图

Fig. 5　Result of the landscape design of the region

本系统可应用在以下两个方面:

(1) 区域编辑后的挖填方计算:图 7 为图 6 下按照上述挖填方计算方法计算挖填方量的结果图,图中记录了编辑区域地形格网点的属性信息,包括每个格网 4 个角点高程值、横向与纵向间距、底面积、被编辑后格网的高程值,以及每个格网的挖填方量。从图中可以看出,地形经过平整后,区域格网点最终高程值均修改为 289.859m,区域的总土石方量为 −224.852 万 $m^3$,其中,填方量为 −

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



(a)初始编辑区域 (b)区域编辑后 (c)区域编辑后线框显示

图 6 地形编辑处理后区域的挖填方情况(红色为挖方区域,蓝色为填方区域)

Fig. 6 Result of filling and excavation of the edited region(red express excavation region, blue express filling region) (a: before editting; b: after editting; c: the editting result with the grid)

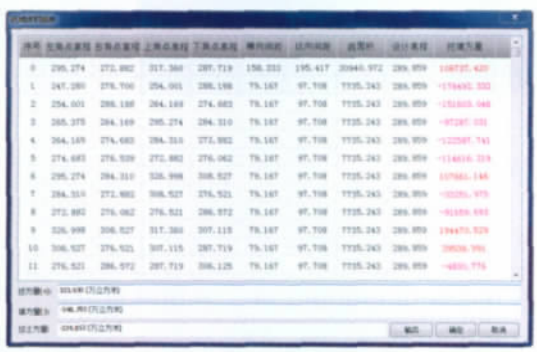


图 7 编辑区域的挖填方量计算结果

Fig. 7 Volume calculation of the fills and excavations of the edited region



图 8 建筑物下部地形的平整处理

Fig. 8 The flattening below the buildings

548.782 万 $m^3$,挖方量为 323.930 万 $m^3$。

(2)地物实体模型布置调整:在虚拟场景中,经常需要在地形上部署各种三维模型,包括植被、建筑物等。但是,在部署过程中,常遇到一个普遍的问题,即模型放置到地形上时,会出现模型基部陷入地形中,被地形所覆盖,尤其是在地形不平坦的区域,这种现象更加明显。对于此类问题,可通过对地物所在区域正下方的地形进行细微的修整,比如整平,使建筑物等模型放置于比较平坦的地面。图 8 为建筑物下方区域地形的削平处理。

## 5 结论与展望

交互式数字地形编辑技术是城市和园林景观规划设计、三维仿真系统的重要研究内容之一。本文以规则格网的数字地形为研究对象,针对城市和园林景观规划设计中的实际应用需求,提出了交互式数字地形编辑的解决方案,给出了地形分页技术的交互式编辑具体过程和相关的主要实现技术,初步实现了编辑操作功能的计算机软件,最后展示了数字地形编辑在城镇小区景观设计中的示范。基于规则格网的数字地形编辑,其优点是:算法简单、计算量小、实现容易,通过鼠标交互式的操作,能实时、直观地显示编辑结果,达到"所见即所得"的效果。该方法在景观规划设计、工程实施的土石方量计算等领域具有广阔应用前景。

但是,在场景数据量较大时,该方法的实时编辑处理效率有所降低,有待进一步改进与优化。以方格网算法的土石方量计算时,存在一定的误差,需要寻找更加合理和精确的计算方法。后续研究将主要以城市或乡村道路网的规划设计为需求,进一步提高交互式编辑实时操作效率和编辑精度,并将坡度、坡向和剖面分析、通视性分析、最短路径分析等空间分析功能集成到软件系统中,以提高系统的实用性。

**参考文献:**

[1] Cao J, Peng X Bo. Research on the design and evaluation of signal coordination control system in urban main

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

road[C]. Proceedings of International Conference on Logistics Engineering and Intelligent Transportation Systems (LEITS). Wuhan, China: IEEE, 2010,1-3.

[2] Bauer O, Robert M. Road database design for velocity profile planning[C]. Proceedings of International Conference on Control Applications. Frankfurt, Germany: IEEE, 2003,1356-1361.

[3] 杨昕, 汤国安, 刘学军,等. 数字地形分析的理论方法与应用[J]. 地理学报, 2009, 64(9): 1058-1070.

[4] 石松, 陈崇成, 王钦敏. 地物仿真及交互可视化编辑工具的设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(3): 659-684.

[5] Ujang M U, Abdul R A. 3d navigation system for virtual reality based on 3d game engine[C]. Proceedings of International Conference on the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Beijing, China, 2008,513-518.

[6] Busby J, Parrish Z, Wilson Jeff. Mastering unreal technology: Introduction to level design with unreal engine 3 [M]. Sams Publishing, 2009.

[7] Atlan S, Garland M. Interactive multiresolution editing and display of large terrains[C]. Proceedings of Computer Graphics, Wiley Online Library, 2006,211-223.

[8] 王锐, 钱学雷. Openscenegraph 三维渲染引擎设计与实践[M]. 北京:清华大学出版社, 2009.

[9] Zhou H, Sun J , Turk G. Terrain synthesis from digital elevation models[J]. IEEE Visualization and Computer Graphics, 2007, 13(4): 834-848.

[10] Strugar F. Continuous distance-dependent level of detail for rendering heightmaps[J]. Journal of Graphics, Gpu, and Game Tools, 2009, 14(4): 57-74.

[11] Duchaineau M, Wolinsky M, Aldrich Charles, et al. Roaming terrain: Real-time optimally adapting meshes [C]. Proceedings of International Conference on Visualization '97, Proceedings. Phoenix, AZ, USA, USA IEEE, 1997,81-88.

[12] Hoppe H. Smooth view-dependent level-of-detail control and its application to terrain rendering[C]. Proceedings of International Conference on Visualization ' 98 Proceedings. Research Triangle Park, NC, USA IEEE, 1998,35-42.

[13] Losasso F, Hoppe H. Geometry clipmaps: Terrain rendering using nested regular grids[C]. Proceedings of International Conference on ACM Transactions on Graphics (TOG). New York, USA: ACM, 2004, 769-776.

[14] Lindstrom P, Pascucci V. Terrain simplification simplified: A general framework for view-dependent out-of\ core visualization[J]. Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on, 2002, 8(3): 239-254.

[15] 唐勇, 郭栋梁, 吕梦雅. 视点相关的大规模地形内外存调度算法的研究[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(8): 2424-2427.

[16] Goswami P, Makhinya M, Bösch J, *et al*. Scalable parallel out-of-core terrain rendering[C]. Proceedings of International Conference on Eurographics Symposium on Parallel Graphics and Visualization. Norrk? ping, Schweden, 2010,63-71.

[17] 杨旭东, 皮学贤, 李思昆. 基于瓦片四叉树和概要金字塔的地形数据组织与高性能调度[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(增刊): 69-73.

[18] 曹启华, 邓雪情. 基于金字塔模型的规则格网数据可视化交互式编辑[J]. 测绘科学技术学报, 2007, 24 (6): 427-431.

[19] Li D, Hu Y S, Meng D Y, *et al*. The research and implementation of interactive terrain editing and crack elimination[C]. Proceedings of International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering. Wuhan, China: IEEE, 2009,1-4.

[20] 汤国安, 刘学军, 房亮, 等. Dem 及数字地形分析中尺度问题研究综述[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2006, 31(12): 1059-1066.

[21] Tang L Y, Chen C C, Zou J, *et al*. OntoPlant: an integrated virtual plant software package for different scale application[C]. Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Spatial Data Mining and Geographical Knowledge Services (ICSDM2011) in conjunction with Eighth Beijing International Workshop on Geographical Information Science (BJ-IWGIS 2011), Fuzhou,China: IEEE, 2011, 308-314.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

# On Interactive Digital Terrain Editing for Landscape Planning & Design and Its Implementation

LI Jieguang, TANG Liyu, CHEN Chongcheng, ZOU Jie and LIN Ding
(*Key Laboratory of Spatial Data Mining & Information Sharing of MOE, Spatial Information Research Centre of Fujian, Fuzhou University, Fuzhou* 350002 , *China*)

**Abstract**: Digital terrain editing is one of important research contents in virtual geographical environment and 3D landscape simulation system, which has significant value in digital design practices of city and country, road network, landscape planning, etc. In this article we took the digital terrain based on regular grid as research objectives, oriented to practical application of the city and landscape planning & design, and proposed an interactive digital terrain editing scheme. OpenSceneGraph uses the directed acyclic graph for managing the scene graph, level of detail (LOD) and pagination technique for real-time rendering. Specific processes and related major implementation technology of the terrain interactive editing based on pagination technology was described. Firstly, the target region was selected through the mouse interactive operation combined with ray intersection algorithms. Secondly, the grid data under the region was gotten in the basis of polygon angle sum algorithm. Lastly, the grid elevation of region was assigned a new elevation value by dragging of mouse in the vertical direction. Under the edited region, by the grid method that is used to calculate earthwork volume, it is calculated that the volume of the fills and the excavations. In addition, the trees models were loaded by modeling software of ParaTree, which is researched and developed by our group, and the three-dimensional architectural models were built by the 3DMAX. All the models were loaded into the virtual forest visualization system (VisForest). The virtual town/village landscape in the flattened region was constructed according to user's design idea. The editing function was preliminarily realized, which showed the results of application in urban residential landscape design. This study showed that the digital terrain editing based on regular grid and pagination technology has advantages of simple algorithm, small amount of calculation and easy to realize. What is more, mouse interactive operation can show the editing result in a real-time and intuitional way, and achieve the effect of "what you see is what you get".

**Key words**: digital terrain; regulation grid; pagination technology; interactive terrain editing; landscape planning and design

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net