

4-14-2021

Design and Implementation of Multi Level Terrain Editing Tool

Xiang Bing

1. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; ;2. Hulunbuir University, Hulunbuir 021008, China; ;

Yang Gang

1. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; ;3. Engineering Research Center for Forestry-oriented Intelligent Information Processing of National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100083, China;

Xiaohong Dong

2. Hulunbuir University, Hulunbuir 021008, China; ;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Design and Implementation of Multi Level Terrain Editing Tool

Abstract

Abstract: 3D terrain is an indispensable scene element in computer games, virtual simulation, geographic information and other applications. Realistic digital terrain plays an important role in enhancing the reality of virtual scene and the immersion of users. *Based on the in-depth analysis of terrain features and user modeling requirements, a multi-level terrain editing mode is constructed. In the mode, the terrain editing behavior can be expanded from three levels of point, line and face. Each level has a specific operation target and corresponding editing tools. A multi-level and comprehensive terrain editing tool set composed of point tool, curve tool and brush tool is constructed.* It provides users with an intuitive, flexible, systematic and comprehensive means of terrain editing.

Keywords

terrain editing, mean coordinate method, moving least square method, brush

Recommended Citation

Xiang Bing, Yang Gang, Dong Xiaohong. Design and Implementation of Multi Level Terrain Editing Tool[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(4): 900-909.

多层次地形编辑工具的设计与实现

向兵^{1,2}, 杨刚^{1,3}, 董晓红²(1. 北京林业大学, 北京 100083; 2. 呼伦贝尔学院, 内蒙古 呼伦贝尔 021008;
3. 国家林业草原林业智能信息处理工程技术研究中心, 北京 100083)

摘要: 三维地形是计算机游戏、虚拟仿真、地理信息等各种应用领域中不可或缺的场景元素。逼真的数字地形对于增强虚拟场景的真实感, 提高用户的沉浸感具有重要作用。在对地形特征及用户的建模需求进行深入分析的基础上, 构建了一种多层次的地形编辑模式。在此模式下, 地形编辑行为可以从点、线、面 3 个层次来展开, 每个层次都有特定的操作目标和对应的编辑工具, 构建形成了由点工具、曲线工具和笔刷工具组成的多层次、综合化的地形编辑工具集。为用户提供了一种直观灵活、系统全面的地形编辑手段。

关键词: 地形编辑; 均值坐标法; 移动最小二乘法; 笔刷

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

文章编号: 1004-731X (2021) 04-0900-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.20-0769

Design and Implementation of Multi Level Terrain Editing Tool

Xiang Bing^{1,2}, Yang Gang^{1,3}, Dong Xiaohong²(1. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Hulunbuir University, Hulunbuir 021008, China;
3. Engineering Research Center for Forestry-oriented Intelligent Information Processing of
National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100083, China)

Abstract: 3D terrain is an indispensable scene element in computer games, virtual simulation, geographic information and other applications. Realistic digital terrain plays an important role in enhancing the reality of virtual scene and the immersion of users. Based on the in-depth analysis of terrain features and user modeling requirements, a multi-level terrain editing mode is constructed. In the mode, the terrain editing behavior can be expanded from three levels of point, line and face. Each level has a specific operation target and corresponding editing tools. A multi-level and comprehensive terrain editing tool set composed of point tool, curve tool and brush tool is constructed. It provides users with an intuitive, flexible, systematic and comprehensive means of terrain editing.

Keywords: terrain editing; mean coordinate method; moving least square method; brush

引言

数字地形在计算机游戏、虚拟仿真、地理信息等各种应用领域中都发挥着重要作用。例如, 游戏中供玩家探索的大型逼真的自然环境, 科幻电影中奇幻的地理环境, 虚拟战场中飞行驾驶场景等, 逼真的数字地形都是至关重要的组成元素, 对于增强

用户的沉浸感发挥着重要作用。数字地形的表示并不复杂, 通常采用数字高程图来表达地形信息。但地形千变万化, 每种地形都具有特有的表面特征, 因此编辑地形时往往对山丘坡度、地表局部起伏形态、河流横断面等有特定的要求, 这使得地形的构建与编辑并非一件容易的事情。

收稿日期: 2020-10-03 修回日期: 2020-10-22

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划(2018BFG02002); 国家重点研发计划(2017YFC0504404); 北京高校卓越青年科学家计划(BJJWZYJH01201910048035)

第一作者: 向兵(1987-), 男, 讲师, 硕士生, 研究方向为计算机图形学、虚拟现实。E-mail: xiangbing911@126.com

通讯作者: 杨刚(1977-), 男, 博士, 副教授, 硕士生导师, CCF 会员, 研究方向为计算机图形学、虚拟现实。E-mail: yanggang@bjfu.edu.cn

目前已有的许多地形建模方法, 主要关注地形中的某一类特征或某一种地形现象, 它们在处理特定地形建模上非常有效, 但尚缺乏对地形特征及编辑需求的更为全面的考察和规划, 无法为用户提供一套通用的、能满足更普遍需求的地形建模工具。因此本文对数字地形的表达方式及其最普遍的编辑需求进行了深入分析, 提出了一种针对不同地形特征的三层次(点、线、面)地形编辑模式, 各个层次将具有不同的操作对象和操作功能。3 个层次分别对应的编辑工具为: 点工具、曲线工具和笔刷工具, 3 类工具相结合共同组成一个较为全面的地形编辑工具集。

1 相关工作

国内外研究人员已经提出了许多地形建模和编辑方法, 主要包括基于过程的地形构建、基于物理侵蚀的地形模拟、基于纹理合成的地形建模、基于草图的地形生成 4 类建模方法。

基于过程的方法是根据预先设定的过程函数, 通过多次迭代自动生成三维地形, 在不以真实数据为输入的情况下, 通过对现实世界地形表面特征的观测来模拟地形。Fournier 等^[1]使用中点位移法递归细分的生成分形地形。Musgrave 等^[2]提出了基于分形布朗运动的标准分形地形模型, 通过添加几种不同比例和幅度的噪声, 可以构建局部类似于真实地形的模型。夏伟杰等^[3]提出了一种分形布朗曲面模型组合的生成地形的新方法, 将具有不同特征的 2 种分形布朗曲面相融合, 使得最终生成的分形地形具有各向异性特征。基于过程的建模方法通过参数方式的控制能力十分有限, 很难通过调节参数得到用户期望的地形, 这就限制了分形地形建模的通用性。

基于物理侵蚀的方法是通过反复模拟自然界的侵蚀和风化的物理形成过程来生成具有真实感的侵蚀地形。Kelle 等^[4]通过研究水流模型, 构建了具有高度真实感表现的河网。Cordonnier 等^[5]通过构造地壳隆起产生主要的地貌, 将隆起和水力

侵蚀相结合以生成视觉上合理的地形。基于物理侵蚀的方法重点考虑的是如何生成具有高度真实感地形的的问题, 计算量大、不易控制等特点导致该方法不适合作为一种实时交互编辑工具。

基于纹理合成的方法指采用一组输入图像并获得具有类似特征的输出, 在纹理合成方面, Zhou 等^[6]做了很多相关的工作, 首先把数字高程模型拆分为补丁, 然后提取地形的山脊和山谷线的特征, 根据地形特征向外扩展重新排序补丁的放置, 最后根据用户的草图和已放置补丁的匹配程度来选择补丁的位置。Gain 等^[7]通过将基于补丁的地形合成转换为基于并行像素的地形合成, 进一步解决了效率和控制问题。基于纹理合成的方法在用户的交互控制能力上较前 2 种方法有了较大的提升, 但方法的本质是根据已有整体特征的地形合成新的相似特征地形, 专注于样本合成方法的研究。

在目前所有地形建模方法中, 交互控制能力最好的就是使用基于草图的地形建模方法, 用户绘制特征曲线, 然后使用插值方法生成地形。Dos Passos 等^[8]采用第一人称轮廓草图绘制界面来重构地形, 但该方法只考虑强轮廓, 限制了可以绘制的地形类型。王继东等^[9]提出一种基于特征草图和独立山体拼合的真实感地形生成算法。该方法的缺点是通过外部的草图来控制分形生成地形的分布, 缺乏对山体灵活的交互控制。Gain 等^[10]通过绘制各种草图曲线来指定山脉、山谷等特征地形, 但该方法是在 2.5D 空间中绘制草图, 交互性还有待提高。Hnaidi 等^[11]提出了一种从平面上的特征曲线生成地形的扩散方法, 通过将不同类型的约束(如高程, 坡度和粗糙度)附加到曲线上, 使用有效的多重网格扩散算法从特征曲线表示中生成地形。该方法是通过在平面上定义的控制点生成一系列 Bézier 曲线, 所以不能直接在 3D 空间中修改曲线的样式, 影响了用户的交互能力。但文中使用曲线控制地形的方法对本文构建曲线编辑工具具有很好的借鉴作用。

总结来看, 基于过程、基于物理侵蚀、基于纹理合成的 3 类方法都是以地形的某一类特征现象为中心进行的算法研究, 并未着重考虑用户的地形编辑需求。而基于草图的生成方法考虑了用户对地形线状特征的操作, 提供了对山脉轮廓、河流等元素的编辑手段, 交互建模的能力显著。但其仅考虑了线状元素对地形的控制, 未能充分考虑点、面层次的地形控制, 因此建模能力有限。

2 多层次地形编辑工具

由于对地形编辑的需求多种多样, 如创建蜿蜒的河流、绵延起伏的山丘等, 这使得很难有一个能满足所有编辑需求的解决方案, 因此本文从点、线、面 3 个层次综合考虑地形特征元素的编辑。点层次主要考虑以点为中心的区域进行编辑, 代表地形元素如山丘、湖泊等; 线层次主要关注具有曲线特征的地形编辑, 代表地形元素如河流、山脉等; 面层次主要考虑连续区域地表特征的编辑, 代表地形元素如山体、平原等。3 种编辑方式相结合可以满足多层次、多目标的地形编辑需求。

本文从点、线、面 3 个层次共设计了 3 类地形编辑工具, 即点工具、曲线工具、笔刷工具, 每一类工具都提供了多种编辑能力。通过这 3 类地形编辑工具为用户提供了直观灵活、系统全面的地形编辑手段, 3 个层次的编辑工具如图 1 所示。

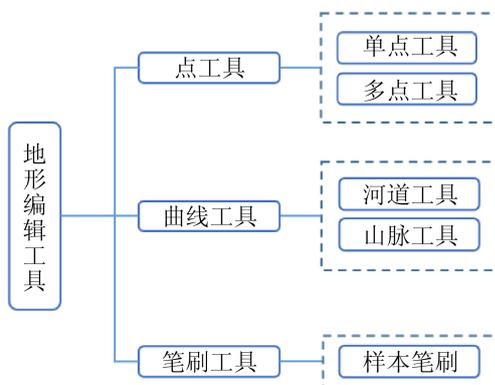


图 1 地形编辑工具结构图

Fig. 1 Structure of terrain editing tool

2.1 点工具

许多地形特征可以看成一种相对独立的局部元素, 如局部凸起, 小凹地; 甚至一片山地也可以认为是多个离散的凸起点连接起来形成的。这些地表形态完全可以通过“点”层次的编辑来完成。在以点为中心的对地形高度、位置、方向、大小、坡度进行精确的控制, 本文设计实现了单点工具完成相应的编辑; 而对于连绵不断的山丘可以看作多个离散的山丘拼合而成, 这种针对大范围地形且山体之间具有相互影响关系的地形, 可以使用多点方式快速生成, 故设计实现了多点工具。

为了实现点工具的功能, 本文引入了具有平移、旋转、缩放功能的 ImGuizmo 坐标轴工具, 如图 2 所示, 用来灵活方便的控制地形的编辑。

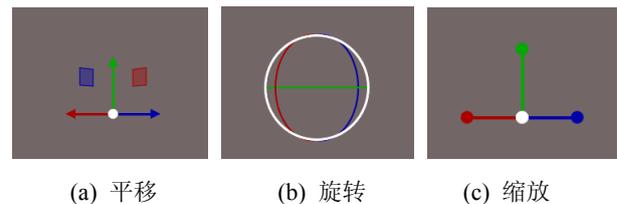


图 2 坐标轴工具
Fig. 2 Axis Tool

2.1.1 单点工具

单点工具实现了对地形高度、位置、方向、大小、坡度 5 种编辑功能。高度编辑能快速准确实现地形高度值的改变, 常用于山丘、湖泊类地形的设计生成; 地形位置、方向、大小、坡度编辑便于本文快速修改地形的样式, 主要应用于各种虚拟场景中的地形编辑操作。

(1) 地形高度编辑

地形高度编辑功能是通过点控制一个区域的地形高度值的快速准确改变。首先在地形中选一控制点, 设定该点控制区域的半径为 R , 然后拖动平移坐标轴的 y 轴即可实现高度值的准确修改。拖拽的高度变化为 ΔH , 在 R 半径区域内, 假设变形点的当前高度为 $H_t(x, z)$, 变形后的高程值

为 $H_i(x, z)$, 计算公式如式(1)所示:

$$H_i(x, z) = H_i(x, z) + \Delta H \times G(x) \quad (1)$$

式中: x 为变形点与控制点之间的距离; $G(x)$ 为 Wyvill's 衰减函数^[12](如式(2)所示); 高度编辑的效果如图 3 所示。

$$G(x) = (1 - (x/R)^2)^3 \quad (2)$$

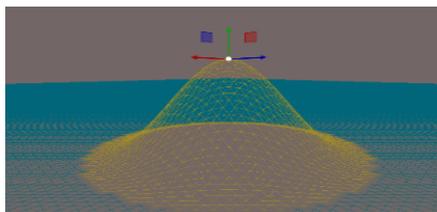


图 3 修改地形高度
Fig. 3 Modifying terrain height

(2) 地形平移操作

用户可以通过操作平移坐标轴而将一块地形区域(源位置)移动到其他位置(目标位置)。首先选定控制点 P 、半径大小为 R 的区域作为移动对象, 然后拖动 P 点上的平移坐标轴工具就可将整个选定区域移动到目标位置。

该操作的实现原理是将选定区域从源位置删除(源位置以一个平面区域来代替), 并将选定区域地形叠加在目标位置上。该过程中要解决的关键问题是: 在源位置填充平面区域以及在目标位置填充选定区域地形, 都有可能与所填充区域周边的地形高度不匹配, 从而出现明显的断层现象。为解决此问题, 本文使用 Farbman 等^[13]提出的均值坐标法进行无缝融合, 并采用沈晔湖等^[14]提出的改进方法对均值坐标法进行了优化。如图 4 所示, 将要移动的区域为圆形区域 B ; 而 A 为源地形的矩形区域, 则均值坐标法融合过程为:

step 1: 在 A 区域中, 使用改进的 Bresenham 画圆算法, 得到半径为 R 的圆周上所有的边界顶点 p_i 的有序列表。由于 Bresenham 画圆算法是利用圆的八对称性, 所以构造的圆的顶点是无序的, 因此需要改进画圆算法构造有序顶点。

step 2: 使用 PNPoly 算法快速检测 A 区域中哪些顶点在 B 区域中, 并生成与 A 区域相同大小

的遮罩层。遮罩层用来标记 B 区域内部点, 融合的时候只计算内部点。

step 3: 计算 B 区域内部每个顶点 x (不包括边界点) 到所有边界点 p_i 的均值坐标 $\lambda_i(x) = w_i / \sum_{j=0}^{m-1} w_j$, 其中 $w_i = 1 / \|p_i - x\|^2$, $\|p_i - x\|$ 表示 p_i 与 x 之间的距离。

step 4: 计算边界点 $H_s(p_i)$ 与目标区域边界点 $H_t(p_i)$ 的高程差值, $\text{diff}_i = H_t(p_i) - H_s(p_i)$ 。

step 5: 计算高程点均值与高程差求积累加 $r(x) = \sum_{i=0}^{m-1} \lambda_i(x) \cdot \text{diff}_i$ 。

step 6: 与目标地形高程相加 $f(x) = g(x) + r(x)$, $g(x)$ 为原始地形高程映射函数; $f(x)$ 为融合之后的地形高程函数, 从而实现地形的无缝融合。

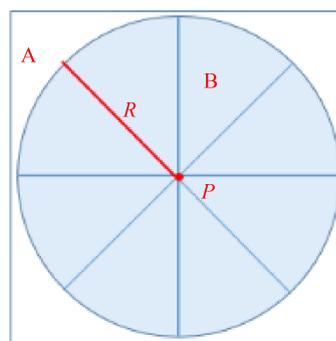


图 4 移动区域
Fig. 4 Moving area

地形平移的效果如图 5 所示。图中右边的平面区域是源位置区域; 左边的山体表示是从源位置区域移动到目标位置区域。

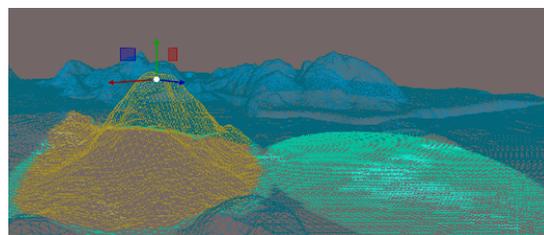


图 5 山体移动
Fig. 5 Mountain movement

(3) 地形旋转操作

首先复制出选择地形的正方形区域, 然后用用户使用旋转坐标轴绕 y 轴旋转 θ 角, 通过 θ 角把复

制的地形区域进行旋转，最后再把旋转后的地形使用均值坐标法无缝融合到原地形中。地形旋转的效果如图 6 所示。

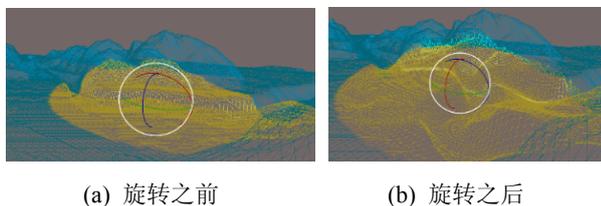


图 6 地形旋转
Fig. 6 Terrain rotation

(4) 地形缩放操作

地形缩放操作跟地形旋转的实现方法类似，首先复制地形区域，然后使用双线性插值算法对地形区域进行缩放处理，缩放完成后把当前地形重新融合到原地形中。地形缩放的效果如图 7 所示。

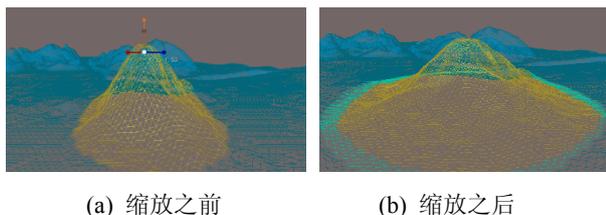


图 7 地形缩放
Fig. 7 Terrain scaling

(5) 地形坡度编辑

坡度的编辑是使用缩放坐标轴 x 轴控制地形坡度的修改。首先确定坐标轴的位置，获得该点的高度值 $Height$ ，然后修改式(1)中的 ΔH 。拖动 x 轴往外拉时 $\Delta H = Height - H_i(x, z)$ ，地形区域往上升，拖动 x 轴往里推时 $\Delta H = H_i(x, z) - Height$ ，地形区域往下降，基于点修改坡度的效果图如图 8 所示。

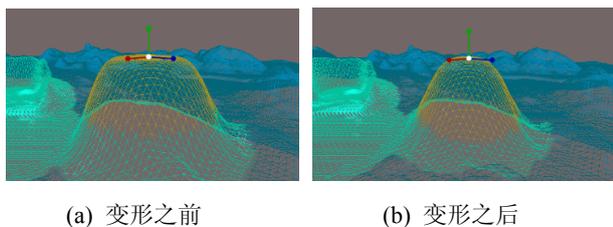


图 8 地形坡度修改
Fig. 8 Terrain slope modification

2.1.2 多点工具

通常大范围的山丘地形多成山峦起伏之状，而且山体与山体之间相互影响，连绵不断。为了直接生成连绵不断的山丘地形，本文提出了快速生成大范围山丘地形的多点工具。在多点工具中，使用一个点代表一个山丘，把大范围的山丘看做是由多个离散点拼合而成的地形。然后通过控制这些离散点实现对大范围山丘地形的生成与控制。

在需要生成大范围山丘地形的区域内添加控制点，控制点个数根据用户的需要来设置，控制点的坐标范围决定变形区域大小。如图 9 所示，图中绘制了 7 个控制点， c 为变形区域。表示可以控制生成 7 个山丘，用户可以改变任意控制点的高度值。比如改变 1 号控制点和 4 号控制点的高度值，其他控制点高度值不变，即表示生成了 2 个山丘。

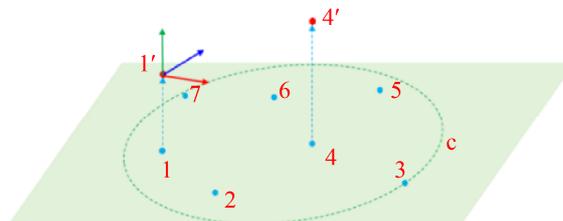


图 9 控制点及控制区域
Fig. 9 Control points and control areas

本文根据 Scott 等^[15]提出的使用基于移动最小二乘法的图像变形原理拓展为三维空间的地形变形。地形变形的步骤如下：

(1) 添加控制点，确定变形区域，如图 10 所示，遍历所有的控制点找到 x, z 轴上最小和最大位置，构造最小坐标点(图 10 中 P_1 点)和最大坐标点(图 10 中 P_2 点)，求得 P_1 和 P_2 点之间的距离，以距离的一半(OP_1)为半径，记为 R 。将以 O 为中心，宽度为 $2R$ 的正方形区域(A 区域)取出，复制到新的缓存。

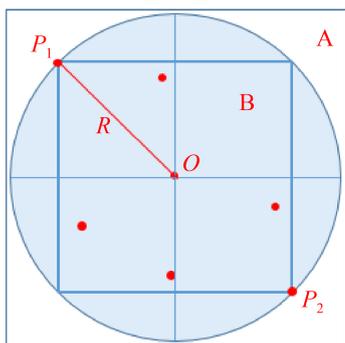


图 10 多点变形区域
Fig. 10 Deformation area of multi point

(2) 计算变形前以 O 为圆心, 半径为 R 的圆形区域(B 区域)内所有顶点相对于每个控制点的距离权重。

(3) 拖拽控制点改变其位置, 计算控制点改变之后 B 区域内每个顶点到控制点的距离权重。

(4) 根据 $f(v) = \sum_i \hat{q}_i A_i + q_* \sum$ 计算 B 区域内所有点变形之后的位置, 其中 p_i 表示原始控制点集合, q_i 表示变形之后的控制点集合, ω_i 表示权重值, $\omega_i = 1/|p_i - v|^{2\alpha}$, α 用来调节变形的效果, 默认设为 1, $p_* = \sum_i \omega_i p_i / \sum_i \omega_i$, $q_* = \sum_i \omega_i q_i / \sum_i \omega_i$, $\hat{p}_i = p_i - p_*$, $\hat{q}_i = q_i - q_*$, $A_i = \left(\omega_i \hat{p}_i^T \left(\sum_j \omega_j \hat{p}_j \hat{p}_j^T \right)^{-1} \right) (v - p_*)$ 。

(5) 把变形完成的地形区域利用均值坐标法融合到原地形中。

多点编辑功能为本文在创作地形的时候带来了一种全新且快速生成地形的方式, 拖拽少数控制点即可完成山体的创建, 实际生成效果如图 11 所示。

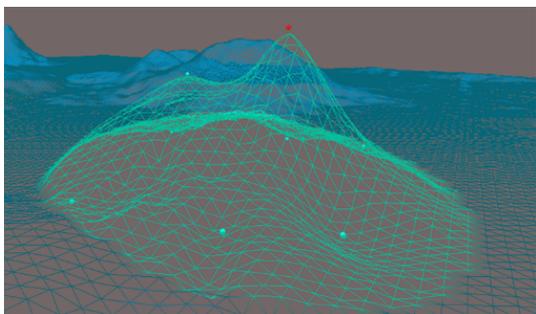


图 11 多点编辑效果图
Fig. 11 Rendering of multi point edit

2.2 曲线工具

地形中最常见的曲线特征元素就是河流和山脉, 这种曲线特征的地形元素, 虽然可以使用普通笔刷的方式完成绘制, 但这类具有曲线特征的地形元素, 更适合曲线层次的编辑。而且河道或山脉还需要考虑对其横断面特征的控制, 基于对河道和山脉等具有曲线特征的编辑需求, 本文设计了相应的曲线编辑工具, 包括河道工具和山脉工具。

2.2.1 河道工具

通常河道在不同的地方, 河道的横断面样式是不一样的, 这导致很难使用某一个固定的函数来描述河道的横断面。由于移动最小二乘法曲线拟合方法具有高精度、光滑性好等特点^[16-17], 因此本文在构造横断面曲线时采用基于移动最小二乘法拟合来生成曲线, 而且可以拟合出任何形状的横断面曲线。

控制河道、山脉走向的曲线路径使用 Catmull-Rom 曲线实现, 同时在曲线的每个控制点上绘制一个小球, 便于用户使用小球拖拽控制曲线。根据河道横断面和河道走向曲线完成河道变形, 但在变形的时候通常会存在 2 个问题。

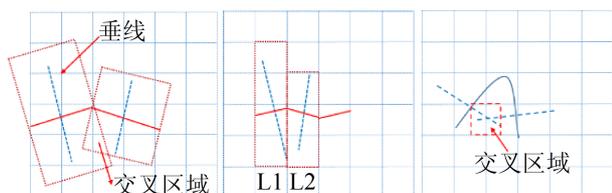
(1) 相邻线段区域的交叉重叠问题

即曲线中相邻线段变形的区域会有交叉重叠的现象, 导致交叉区域多次变形, 相应地另外一面就会出现变形缺漏的现象, 如图 12(a)所示, 红色实线表示曲线线段, 红色虚线框变形区域, 蓝色虚线表示曲线线段的垂线。由于在构造曲线线段的时候, 是每隔一个地形网格单元长度生成一个点, 因此曲线段的垂线在 x 或者 z 方向是一个较小的线段, 长度在一个单元格以内, 故可以采取插值线段垂线垂直或平行 x 轴构造包围盒确定变形区域, 这样相邻区域就不会出现重叠区域问题, 如图 12(b)所示。

(2) 曲线之间邻近区域重叠问题

即弯曲的曲线之间距离较近, 会发生变形

区域相互重叠的现象，如图 12(c)所示，蓝色的实线表示河道路径，蓝色虚线表示曲线线段的垂线。本文采取的方案是给当前曲线范围确定的矩形区域添加遮罩层，用以标记该点是否已变形。如果已变形，比较已变形的河道深度与新的河道深度，更新为河道深度越深的值，表示该点受到的影响越大，从而避免了多次变形累加的问题。



(a)相邻交叉区域 (b)包围盒区域 (c)邻近交叉区域

图 12 河道变形区域

Fig. 12 Deformation area of river course

变形区域确定之后，按式(3)完成变形，计算区域内每个点到曲线线段的垂直距离 r ，河道绘制结果如图 13 所示。

$$H_i(x, z) = H_i(x, z) + \lambda \times f(r) \quad (3)$$

式中： $f(r)$ 为示拟合生成曲线的函数； λ 为权重系数。

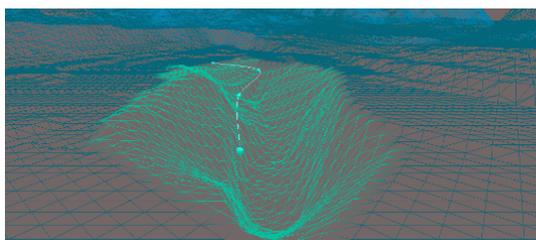


图 13 河道效果图

Fig. 13 Rendering of river course

2.2.2 山脉工具

山脉编辑工具与河道工具的实现方法类似，只是在山脉工具中使用曲线的高度约束山脉的高度，另外在构造山脉横断面时，横断面曲线的朝向跟河道的横断面朝向是相反的方向。山脉绘制的效果如图 14 所示。

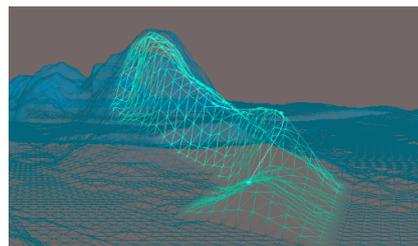


图 14 山脉编辑效果图

Fig. 14 Rendering of mountains edit

2.3 笔刷工具

由于 Unity 等传统的笔刷工具中笔刷的样式是采用预先定义简单图案，因此传统的笔刷工具所能绘制的地形样式有限，而且真实感不足。而本文设计的笔刷工具通过采集任意样式的真实地形样本实现灵活多样的真实感地形绘制。笔刷工具的实现主要包含 3 个步骤：

(1) 笔刷采样

本文提供了 2 种采样方案：(1) 以鼠标拾取点为中心，半径为 R 的圆形区域采样；(2) 通过本文使用的 Catmull-Rom 曲线完成任意形状的地形区域采样。

(2) 获取笔刷路径

将用户绘制的笔刷路径进行等间距划分，间距的大小与所选样本的大小呈正相关，默认间距为样本的半径。相比于传统的每帧应用一次笔刷的方式，这种方法大量减少了笔刷应用的次数，使样本在笔刷路径上实现均匀分布，通过间距有效保持了样本的特征。

(3) 样本融合

在确定笔刷路径上的样本绘制点之后采用均值坐标法把样本无缝融合到目标地形，笔刷的绘制效果如图 15 所示。

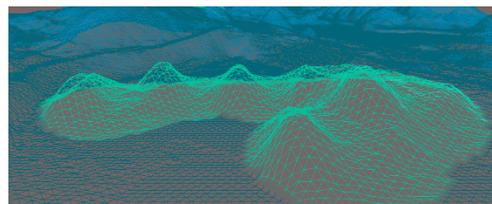


图 15 笔刷效果图

Fig. 15 Rendering of brush

3 实验结果与分析

评价地形编辑工具的效果, 主要由地形编辑的时间消耗、用户编辑地形的效率和效果决定。用户最直接的感受是在编辑过程中有无等待的现象, 用户是否能够快捷方便的创建出所需地形, 以及编辑之后的视觉效果是否符合用户的期望。因此在本章中, 将对本文设计的 3 类地形编辑工具的性能进行分析、用户对地形编辑的效率进行测试。

3.1 编辑工具的性能分析

系统的主要开发平台为 Visual Studio 2019, 图形 API 为 DirectX 11, 所用语言为 C++, 程序运行 PC 环境(CPU:Inter Core i5-6400 2.7GHz, 内存 8G, 显卡: Nvidia GeForce GTX 745, 显存: 4G)。本文测试选用 512×512, 1024×1024, 2048×2048 3 种不同大小的高度图, 使用三大类工具在不同的高度图、不同大小的变形区域分别对比测试, 具体测试结果如表 1 所示。

对比 Gain 等^[7]实现的基于纹理合成地形编辑工具, 其中曲线编辑工具针对 3 种不同大小高度图的合成时间分别是: 512×512 大小大约是 75 ms, 1024×1024 大小大约是 180 ms, 2048×2048 大小大

约是 450 ms。结合本文测试的数据情况看, 本文所设计地形编辑工具具有很好的实时交互性, 适合于快速地形建模, 并能灵活的修改已有地形。

3.2 用户的编辑效率

为测试用户使用本系统创作地形的效率, 本文从地形平面开始绘制地形, 并计算其创作所需要的时间, 为了绘制真实感地形, 本文提供了少量的真实地形样本。在本文的用户测试实验中, 邀请了 30 名地形设计测试人员。

用户实验分 2 组进行, 第 1 组实验是用户参照图 16 中 Hnaidi 等^[11]花费 45 min 创作的地形效果图绘制类似的地形, 在参加测试的 30 人中 86% 的测试者能在 5~10 min 之内使用本文的编辑工具即可完成地形的基本轮廓和地形表面细节的生成, 用户绘制的效果如图 17 所示。第 2 组实验不设参照目标, 由用户自由创作地形, 用户根据地形特征灵活使用点工具、曲线工具和笔刷工具相结合的方式创作了如图 18 所示的山谷地形和海岛地形, 其创作时长大约 10 min。其中 90% 测试者表示本文的编辑工具简捷易用而且创作地形效率高, 更适合真实感地形的建模。

表 1 编辑工具测试结果
Tab. 1 Test results of edit tool

测试项目	512×512		1 024×1 024		2 048×2 048	
	顶点数	时间/ms	顶点数	时间/ms	顶点数	时间/ms
单点编辑(升降)	2 814 (<i>r</i> =30)	4	2 814 (<i>r</i> =30)	15	2 814 (<i>r</i> =30)	47
	7 835 (<i>r</i> =50)	7	7 835 (<i>r</i> =50)	22	7 835 (<i>r</i> =50)	57
多点编辑(A 矩阵)	2 500	9	7 056	94	10 000	230
	17 424	92	60 516	363	67 600	464
多点编辑(变形)	1 816	8	5 300	159	7 562	171
	13 284	93	46 766	472	52 284	563
河道	7 392	10	31 682	92	73 925	237
	117 208	166	118 351	186	205 125	276
笔刷	2 650 (<i>r</i> =30)	9	2 650 (<i>r</i> =30)	35	2 650 (<i>r</i> =30)	63
	7 562 (<i>r</i> =50)	36	7 562 (<i>r</i> =50)	105	7 562 (<i>r</i> =50)	134

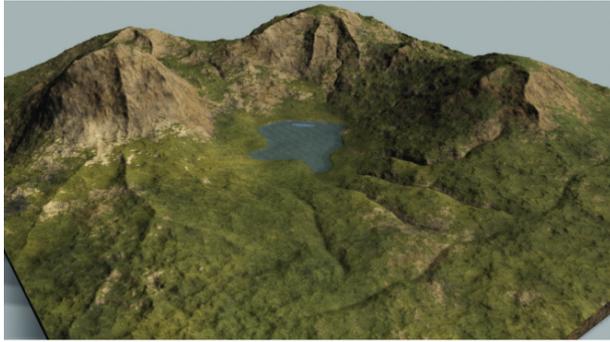
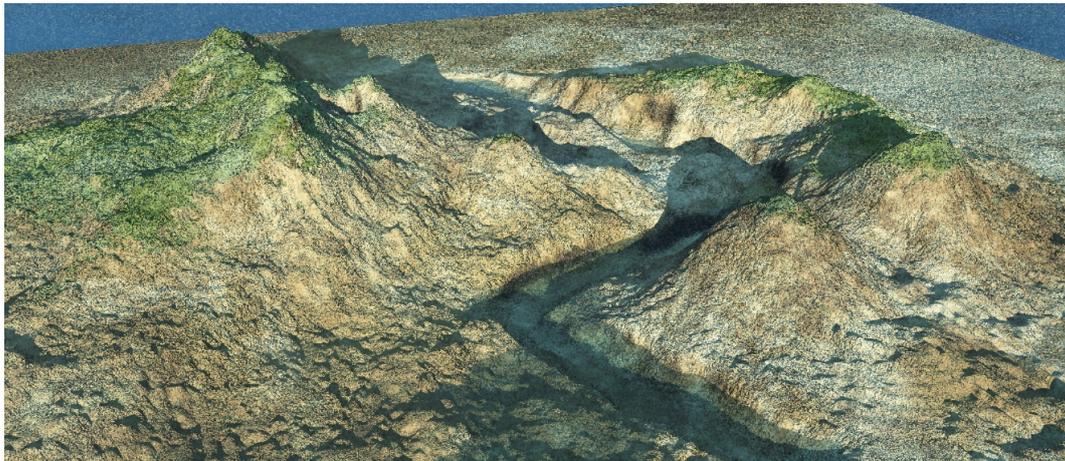


图 16 Hnaidi 等人创作的地形效果图
Fig. 16 Topographic effect map created by hnaidi et al



图 17 点工具、样本笔刷工具创作的地形
Fig. 17 Terrain created by point tool and sample brush tool



(a) 山谷地形



(b) 海岛地形

图 18 本文编辑工具生成的复杂地形
Fig. 18 Complex terrain generated by editing tool in this paper

4 结论

本文从全面提高地形建模工具的交互能力入手,对具有不同特征的地形和用户的建模需求进行了层次划分,从点、线、面 3 个层次进行地形的编

辑,分别构建形成了由点工具、曲线工具和笔刷工具组成的多层次、综合化的地形编辑工具集。

点工具设计了单点和多点 2 种编辑工具。单点工具实现了通过单点来控制地形高度、位置、

方向、大小、坡度编辑功能; 多点编辑工具实现了大范围山丘地形的快速生成。曲线编辑工具通过灵活控制宽度、高度、横断面等特征, 实现了河流及山脉的快速创建及编辑。笔刷工具则通过采集真实地形样本的方式大大提高了用户绘制真实感地形的能力。

本文所提出的多层次地形编辑工具具有简便、直观、灵活的编辑能力, 而且能高效编辑生成具有高度真实感的地形, 因此多层次的地形编辑方法对地形编辑具有十分重要的研究意义。

参考文献:

- [1] Fournier A, Fussell D, Carpenter L. Computer Rendering of Stochastic Models[J]. Communications of the ACM (S0001-0782), 1982, 25(6): 371-384.
- [2] Musgrave F K, Kolb C E, Mace R S. The Synthesis and Rendering of Eroded Fractal Terrains[J]. Computer Graphics (S0097-8930), 1989, 23(3): 41-50.
- [3] 夏伟杰, 周建江, 姚楠. 各向异性的分形地形生成方法研究[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(11): 181-186. Xia Weijie, Zhou Jianjiang, Yao Nan. Anisotropic Fractal Terrain Generation[J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(11): 181-186.
- [4] Kelley A D, Malin M C, Nielson G M. Terrain Simulation Using a Model of Stream Erosion[J]. SIGGRAPH Computer Graphics (S0097-8930), 1988, 22(4): 263-268.
- [5] Cordonnier G, Braun J, Cani M P, et al. Large Scale Terrain Generation from Tectonic Uplift and Fluvial Erosion[J]. Computer Graphics Forum (S0167-7055), 2016, 35(2): 165-175.
- [6] Zhou H, Sun J, Turk G, et al. Terrain Synthesis from Digital Elevation Models[J]. IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics (S1077-2626), 2007, 13(4): 834-848.
- [7] Gain J, Merry B, Marais P. Parallel, Realistic and Controllable Terrain Synthesis[J]. Computer Graphics Forum (S0167-7055), 2015, 34(2): 105-116.
- [8] Dos Passos, Vladimir Alves and Igarashi, Takeo. LandSketch: A First Person Point-of-View Example-Based Terrain Modeling Approach[C]// International Symposium on Sketch-based Interfaces & Modeling. USA: ACM, 2013: 61-68.
- [9] 王继东, 赵瑞斌, 庞明勇. 基于特征草图和分形插值的可控真实感地形合成[J]. 计算机应用, 2013, 33(2): 519-542. Wang Jidong, Zhao Ruibin, Pang Mingyong. Controllable and Realistic Terrain Synthesis based on Feature Sketch and Fractal Interpolation[J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(2): 519-542.
- [10] Gain J E, Marais P, Straßer W. Terrain Sketching[C]// Proceedings of the 2009 Symposium on Interactive 3D Graphics, SI3D 2009. USA: ACM, 2009: 31-38.
- [11] Hnaidi H, Guerin E, Akkouche S, et al. Feature based Terrain Generation Using Diffusion Equation[J]. Computer Graphics Forum (S0167-7055), 2010, 29(7): 2179-2186.
- [12] Wyvill B, Guy A, Galin E. Extending the CSG Tree. Warping, Blending and Boolean Operations in an Implicit Surface Modeling System[J]. Computer Graphics Forum (S0167-7055), 1999, 18(2): 149-158.
- [13] Farbman Z, Hoffer G, Lipman Y, et al. Coordinates for Instant Image Cloning[J]. Acm Transactions on Graphics (S0730-0301), 2009, 28(3): 1-9.
- [14] 沈晔湖, 蒋全胜, 汪帮富, 等. 多尺度并行坐标插值实时图像克隆算法[J]. 数据采集与处理, 2019, 34(1): 135-145. Shen Yehu, Jiang Quansheng, Wang Bangfu, et al. Real Time Image Cloning Based on Multi-scale Parallel Coordinates Interpolation[J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2019, 34(1): 135-145.
- [15] Schaefer S, Mcphail T, Warren J. Image Deformation Using Moving Least Squares[C]// ACM SIGGRAPH 2006 Papers. USA: ACM, 2006: 533-540.
- [16] 曾清红, 卢德唐. 基于移动最小二乘法的曲线曲面拟合[J]. 工程图学学报, 2004, 25(1): 89-94. Zeng Qinghong, Lu Detang. Curve and Surface Fitting based on Moving Least-Squares Methods[J]. Journal of Engineering Graphics, 2004, 25(1): 89-94.
- [17] 蔺爱军. 二次曲面移动拟合法 DEM 内插精度探讨[J]. 铁道勘察, 2008, 34(2): 43-44. Lin Aijun. Studies on Accuracy of Quadratic Surface Moving Fitting Method for DEM Interpolation[J]. Railway Investigation and Surveying, 2008, 34(2): 43-44.