

6-1-2020

## Realistic Real-time Road Rendering Technology Based on Road Boundaryalpha-map

Jinlian Du

*Computer Science College of Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;*

Shang Xin

*Computer Science College of Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;*

Fengchao Zhao

*Computer Science College of Beijing University of Technology, Beijing 100124, 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.

---

# Realistic Real-time Road Rendering Technology Based on Road Boundaryalpha-map

## Abstract

**Abstract:** A method of realistic real-time rendering based on road boundary alpha-map was proposed to eliminate the blur and aliasing issues produced by traditional rendering method based on buffer mechanism. In the method, the road was generated by buffer mechanism based on grid model of terrain, and *the road's borders were constructed by analyzing the characteristics of road boundary grids. Based on these, three types of road boundary alpha-maps were designed for producing the road borders with realistic visual effects.* Experiment shows that the method can improve the rendering realism of the road borders than traditional method. *Another advantage of the method is that the number of alpha-map has nothing to do with the terrain size as well as the length and width of road.*

## Keywords

realistic rendering, 3D road modeling, real-time rendering, three dimensional simulation

## Recommended Citation

Du Jinlian, Shang Xin, Zhao Fengchao. Realistic Real-time Road Rendering Technology Based on Road Boundaryalpha-map[J]. Journal of System Simulation, 2017, 29(7): 1428-1435.

# 基于道路边界 $\alpha$ -map 的真实感道路实时绘制技术

杜金莲, 尚鑫, 赵枫朝

(北京工业大学计算机学院, 北京 100124)

**摘要:** 针对传统基于缓冲区机制的道路绘制方法存在的模糊和锯齿问题进行研究, 提出基于道路边界  $\alpha$ -map 的真实感道路实时绘制方法。该方法基于规则格网地形模型, 通过分析利用缓冲区机制生成的道路模型边界网格的构成及特点, 设计道路的边缘表达, 并基于此设计 3 种类型的道路边界  $\alpha$ -map 用以生成具有实际视觉效果的道路边缘。实验表明: 该方法能够消除传统方法产生的锯齿和模糊现象, 很好的实现道路与地表其它区域的平滑过渡, 提高了绘制的真实感。该方法的另一优点在于  $\alpha$ -map 的数量与地形的大小以及道路的长短和宽窄无关。

**关键词:** 真实感绘制; 3D 道路建模; 实时绘制; 三维仿真

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X(2017)07-1428-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201707006

## Realistic Real-time Road Rendering Technology Based on Road Boundary $\alpha$ -map

Du Jinlian, Shang Xin, Zhao Fengchao

(Computer Science College of Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

**Abstract:** A method of realistic real-time rendering based on road boundary  $\alpha$ -map was proposed to eliminate the blur and aliasing issues produced by traditional rendering method based on buffer mechanism. In the method, the road was generated by buffer mechanism based on grid model of terrain, and the road's borders were constructed by analyzing the characteristics of road boundary grids. Based on these, three types of road boundary  $\alpha$ -maps were designed for producing the road borders with realistic visual effects. Experiment shows that the method can improve the rendering realism of the road borders than traditional method. Another advantage of the method is that the number of  $\alpha$ -map has nothing to do with the terrain size as well as the length and width of road.

**Keywords:** realistic rendering; 3D road modeling; real-time rendering; three dimensional simulation

## 引言

真实感道路绘制是三维场景可视化的重要组成部分, 也是重点研究内容之一, 许多学者对其开展研究并取得了丰富的成果。目前为止, 关于道路

真实感绘制方法主要分两类: 基于几何的方法和基于纹理的方法。基于几何方法的核心思想是通过建立道路的三维几何模型实现道路的真实感绘制, 这方面有代表性的工作包括: 王晨昊等提出的《一种基于地形匹配的道路建模方法》<sup>[1]</sup>; 王伟等提出的一种利用模板的三维道路动态建模方法<sup>[2]</sup>、以及蒲浩等提出的基于 Delaunay 三角剖分的道路三维建模方法<sup>[3]</sup>。这类方法比较适合应用于交通规划、城市建设等领域需要构建的大型公路设施。基于纹理方法的核心思想是利用纹理数据直接生成道路模



收稿日期: 2015-08-17 修回日期: 2016-01-26;  
基金项目: 北京工业大学学科建设基金(007000541215042);  
作者简介: 杜金莲(1972-), 女, 内蒙古, 博士生, 副教授, 研究方向为数据分析与可视化。

<http://www.china-simulation.com>

• 1428 •

型或直接绘制道路模型。目前这方面有代表性的工作有 2 种: (1) 基于缓冲区机制直接在地形表面通过路刷生成道路<sup>[4]</sup>, 这一方法常在三维游戏及工程仿真中应用。方法的特点是能为用户提供实时、直观、简单的操作, 但缺点是绘制出来的道路真实感程度低, 道路的边界易出现模糊及锯齿形状; (2) 王晨昊等提出的基于位移映射的道路生成与绘制方法<sup>[5]</sup>, 其提出采用纹理掩模图提高绘制道路真实感这一思路, 由但纹理掩模图的大小必须与场景的大小相适应, 所以采用纹理掩模图 alpha-map 生成道路只适合于小比例尺场景且场景规模比较小的情况, 当场景规模较大或需要显示细节信息时, 该方法的效率受到限制, 真实感也会受地形分辨率的限制。

本文将针对基于缓冲区机制的真实感道路绘制中出现的边缘模糊以及锯齿形效果问题(如图 1 所示)进行研究, 以规则格网的地形表示方法为基础, 提出道路边界的构建方法和基于道路边界 alpha-map 的真实感道路实时绘制技术, 通过设置道路边界 alpha-map, 对道路边界进行地形基础纹理与道路纹理的融合, 消除锯齿与模糊, 从而增强道路的真实感。本文方法的优点在于:

(1) 只需要少量的边界 alpha-map 便可实现道路边缘平滑的纹理融合, 占用资源少, 有利于道路的实时绘制。

(2) 该方法不受地形场景大小, 道路宽窄的限制。

(3) 由于视点位置不同而产生的不同细节道路效果由纹理的分辨率决定, 当视点远时采用低分辨率的纹理, 当视点近时采用高分辨率的纹理, 不需要几何模型的变化, 简化实现技术, 降低计算量。

## 1 基于格网表达 DEM 的道路实时生成方法

基于规则格网地形表达生成道路模型的核心技术是缓冲区技术, 基本思路是利用栅格法中数学形态学扩展的思想, 将膨胀算法直接作用于地形格

网, 把通过鼠标拾取到的道路中心轨迹网格向周围地形网格进行扩张, 生成宽度符合要求的缓冲区。下面是具体的缓冲区生成算法。

### 1.1 基于规则格网的八连通膨胀道路生成算法

地形的规则格网模型如图 1 所示, 地形表面在 XY 平面中被均匀划分成 M 行×N 列的格网, 格网顶点处存储该点的高程值<sup>[6-7]</sup>。采用规则格网模型表达的地形中, 每个网格可通过事先定义的行、列号进行索引。

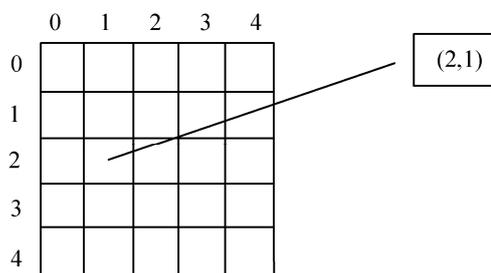


图 1 基于规则格网的地形表达

Fig. 1 Terrain representation based on grid

基于此种地形表达模型, 为了实时建立特定宽度的道路模型, 具体方法如下:

(1) 通过鼠标移动操作拾取相应的地形网格, 便可获取由一系列网格构成的道路中心轨迹, 如图 2 中所示, 由数字 1 标识的网格是由鼠标获取的、构成道路中心轨迹的一系列网格。

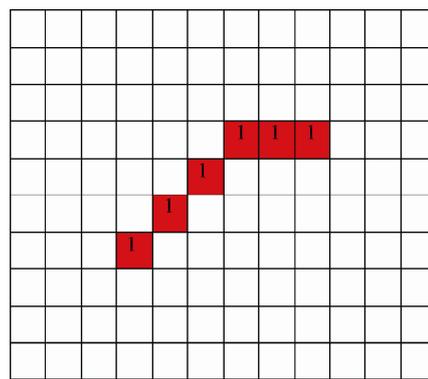


图 2 由鼠标移动获取的网格构成道路的中心轨迹  
(由 1 标识的网格)

Fig. 2 The centre line of the road produced by mouse selecting operation(the grid signed by 1)

(2) 以道路中心轨迹为轴线, 向两侧膨胀成一

定宽度的、以中心轨迹对称的条状缓冲区域，由于道路是由连续的单元网格构成，每个单元网格覆盖一定的面积，为此我们按公式(1)将缓冲区的宽度转化为道路覆盖的单元网格的个数  $n$ ：

$$n = \lfloor \frac{w_r}{w_g} \rfloor \tag{1}$$

式中： $n$  为道路缓冲区覆盖的格网数目； $w_r$  为道路的宽度； $w_g$  为格网的宽度。

确定了缓冲区的宽度后，就可以从中心轨迹开始，使用八连通膨胀法向外扩张，直到满足用户需要的宽度为止。图 3 为沿道路中心轨迹向外膨胀两次生成宽度为 5 个网格的道路缓冲区。

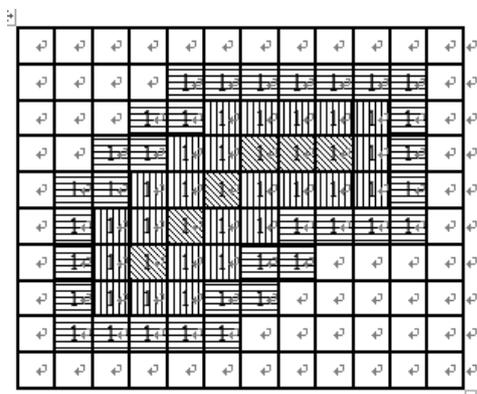


图 3 以道路中心轨迹为中心膨胀生成道路

Fig. 3 The road expanded from the center line of the road

### 1.2 道路几何模型的表达

基于规则格网通过缓冲区技术生成的道路模型采用状态标志的方式进行表达，对于表达地表的网格采用状态 0 进行标志，对于表达道路的网格采用状态 1 进行标志，如公式(2)所示：

$$\begin{cases} \text{road : status}(g(i, j)) = 1 \\ \text{terrain : status}(g(i, j)) = 0 \end{cases} \tag{2}$$

式中： $g(i, j)$  为索引为第  $i$  行，第  $j$  列的网格； $\text{status}(g(i, j))$  为网格  $g(i, j)$  的状态，状态为 1 时为道路，状态为 0 时为地表。

图 3 中所示的标志为 1 的网格构成的缓冲区便是宽度为 5 的道路模型的表达。基于状态标志的道路模型在绘制时，通过网格状态决定需要映射的纹理类型。

## 2 基于道路边界 alpha-map 的纹理生成

第 2 节中建立的基于规则格网缓冲区表达的道路几何模型存在的最大问题是道路边界呈锯齿形，如图 4 所示。为了解决这一问题，传统的方法是在进行纹理映射时采用多级纹理混合技术对道路的边界进行平滑处理。但简单的纹理混合效果并不理想，如图 1 所示。为提高道路边缘平滑效果，增加道路绘制的真实感，我们对道路边界网格结构进行分析和定义，提出以道路边界网格内邻边 1/2 处为分界点进行道路边界的构造，并设计出一组符合道路边界表达的 alpha-map 以实现道路与地表的平滑过渡。

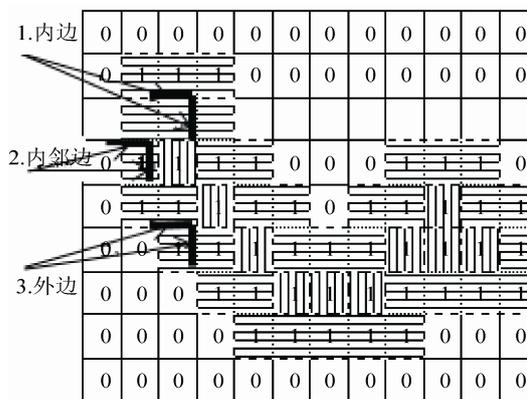


图 4 构成道路边界网格的边的分类

Fig. 4 The classification of the edges that form the mesh of a road boundary

### 2.1 道路边界网格结构的定义

道路边界网格的特点是其周围 8 个相邻格网中至少有一个网格为地形网格，反之为道路内部网格。如图 4 中所示的具有横线阴影的网格即为边界网格，具有竖线阴影的网格为道路内部网格。通过对构成边界网格所有边的相邻情况进行分析，我们对边界网格的边进行如下分类并定义：

内边：道路边界网格与道路内部网格共有的边，如图 4 中 1 所示。

内邻边：道路边界网格与其它道路边界网格共有的边，如图 4 中 2 所示。

外边：道路边缘网格自己独有的边，如图 4 中 3 所示。

## 2.2 道路边缘的构造

基于 3.1 中边界网格结构的定义, 我们将边界网格内邻边的中点进行连接, 便构造出道路的边界线, 如图 5 所示。

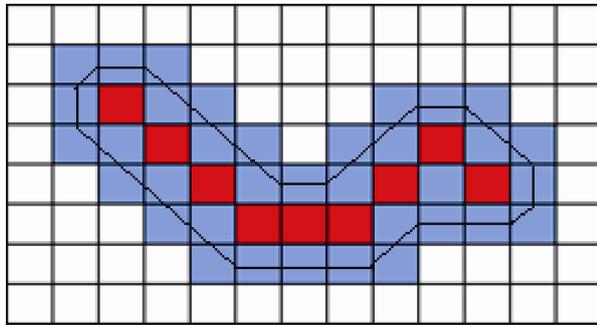
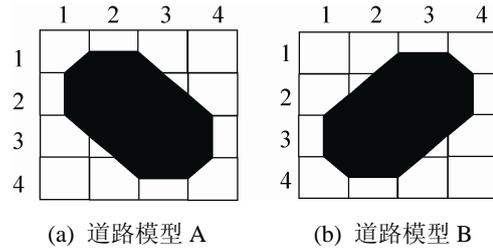


图 5 连接边界网格内邻边的中点形成的路边缘线  
Fig.5 The edge of the road formed by the midpoint of the adjacent edge of the mesh

道路边界线的位置决定了地表与道路多级纹理混合的边界, 在边界线以里的区域道路纹理的权值为 1, 地表纹理的权值为 0; 而边界线以外的区域, 地表纹理的权值为 1, 道路纹理的权值为 0。这样设计道路边界线的优点在于所有的道路边界网格均包含边界线, 从而可以在边界网格中统一进行纹理混合处理。除此之外, 此方法也较大程度上保留了操作员在编辑道路时初始选择拾取道路的曲直形状, 有更强的真实感。

## 2.3 道路边界 alpha-map 的设计

为实现道路边缘的平滑过渡, 需要根据道路边界线设置道路边界网格的 alpha-map。为此我们分析每个边界网格及其包含的边界线形成的过滤区域。通过分析发现道路的延展方向只有 4 种: 垂直、水平、左上右下和左下右上, 而垂直和水平又是其它两种延展方向的特例。为此我们只需要分析左上右下和左下右上 2 种延展方向的道路模型即可。如图 6 所示, 黑色为道路所占的区域, 白色为地形其它区域, 图(a)为延展方向为左上右下的道路模型 A, 图(b)为延展方向为在下右上的道路模型 B。下面我们对这两种不同延展方向的道路网格模型进行分析以获得道路边界 alpha-map 的类型。



(a) 道路模型 A (b) 道路模型 B

图 6 不同延展方向的道路模型及其边界网格

Fig.6 Road model with different extension directions and its boundary mesh

首先对图 6 中的网格进行如图所示的编号, 对于道路模型 A, 可以看出其边界网格的类型如表 1 所示, 对于道路模型 B, 其边界网格的类型如表 2 所示。

表 1 图 6(a)中边界网格的类型说明表

Tab. 1 Type description table for boundary mesh in Fig. 6(a)

边界网格编号	边界类型	周边网格状态
A11	左上边界	右方、右下、下方为道路
A12	上边界	只有左上、上方与右上三个方向不是道路
A13	右上边界	左方、左下、下方、右下为道路
A14	非道路	——
A21	左边界	只有左上、左方与左下三个方向不是道路
A22	非边界	——
A23	右上夹角边界	只有右上方一个方向不是道路网格
A24	右上边界	左上、左方、左下、下方为道路
A31	左下边界	上方、右上、右方、右下为道路
A32	左下夹角边界	只有左下方一个方向不是道路网格
A33	非边界	——
A34	右边界	只有右上、右方与右下三个方向不是道路
A41	非道路	——
A42	左下边界	左上、上方、右上方、右方为道路
A43	下边界	只有左下、下方与右下三个方向不是道路
A44	右下边界	上方、左上方、左方为道路

表 2 图 6(b)中边界网格的类型说明表

Tab. 2 Type description table for boundary mesh in Fig. 6(b)

边缘网格编号	边界类型	周边网格状态
B11	非道路	——
B12	左上边界	右方、右下、下方、左下为道路
B13	上边界	只有左上、上方与右上三个方向不是道路
B14	右上边界	左方、左下、下方为道路
B21	左上边界	右上、右方、右下、下方为道路
B22	左上夹角边界	只有左上方一个方向不是道路网格
B23	非边界	——
B24	右边界	只有右上、右方与右下三个方向不是道路
B31	左边界	只有右方与上方两个方向为道路
B32	非边界	——
B33	右下夹角边界	只有右下方一个方向不是道路网格
B34	右下边界	上方、左上、左方、左下为道路
B41	左下边界	上方、右上、右方为道路
B42	下边界	只有左下、下方与右下三个方向不是道路
B43	右下边界	右上、上方、左上、左方为道路
B44	非道路	——

通过对以上 2 个表中的边界网格类型进行分析, 可将道路边界网络归纳为 3 大类:

第 1 类: 如图 7 所示, 分别是构成上边界、下边界、左边界、右边界的网格, 对应表 1 和表 2 中的 A12、B13(上边界), A43、B42(下边界), A21、B31(左边界), A34、B24(右边界)。

第 2 类: 如图 8 所示, 分别为构成左上夹角边界、右上夹角边界、左下夹角边界、右下夹角边界的网格, 在表 1 和表 2 中分别对应 B22(左上夹角边界)、A23(右上夹角边界)、A32(左下夹角边界)、B33(右下夹角边界)。

第 3 类: 如图 9 所示, 分别为构成左上边界、右上边界、左下边界、右下边界的网格, 在表 1 和表 2 中分别对应 A11、B12、B21(左上边界),

A13、A24、B14(右上边界), A31、A42、B41(左下边界), A44、B43、B34(右下边界)。

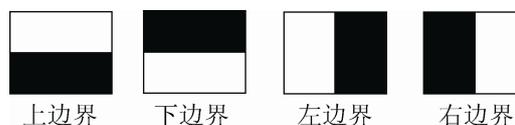


图 7 第 1 种类型边界网格  
Fig.7 The first type boundary mesh

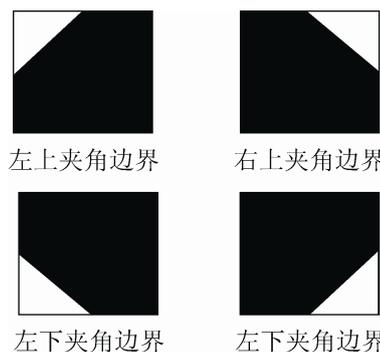


图 8 第 2 种类型的边界网格  
Fig. 8 The second type boundary mesh

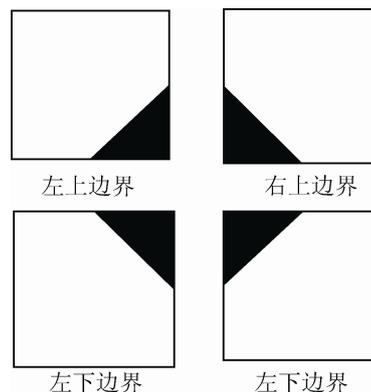


图 9 第 3 种类型的边界网格  
Fig. 9 The third type boundary mesh

对于以上 3 类道路边界网格中的每一种我们只需设计一种类型的道路边界 alpha-map, 然后通过按顺时针方向依次旋转 90°便可以构造出该类中所有网格形成的道路边界。如图 10 所示, 图(a)的 alpha-map 应用于第一类道路边界网格, 通过按顺时针方向依次旋转 90°, 便可以应用于该类中所有的道路边界网格; 同理图(b)的 alpha-map 应用于第二类道路边界, 图(c)的 alpha-map 应用于第 3 类道路边界。Alpha-map 中白色区域像素值为 1, 表示地形区域, 黑色区域的像素值为 0, 表示道路区域。

为使道路纹理与地形纹理在边界处不产生比较突兀的对比, 在 alpha-map 中设置适当的过渡区域, 如图 10 所示, 过度区域像素点值的大小在(0, 1)区间, 具体计算方法如公式(3)所示。

$$\alpha_p = \begin{cases} 1 & \text{当像素点 } p \text{ 位于白色区域} \\ 1 - \frac{d_p}{w} & \text{当像素点 } p \text{ 位于白色区域} \\ 0 & \text{当像素点 } p \text{ 位于白色区域} \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $\alpha_p$  为 alpha-map 中某一像素点  $p$  的值;  $d_p$  为过渡区域中某一像素点  $p$  到白色区域边界的垂直距离, 按像素计算;  $w$  为过渡区域宽度, 按像素计算。

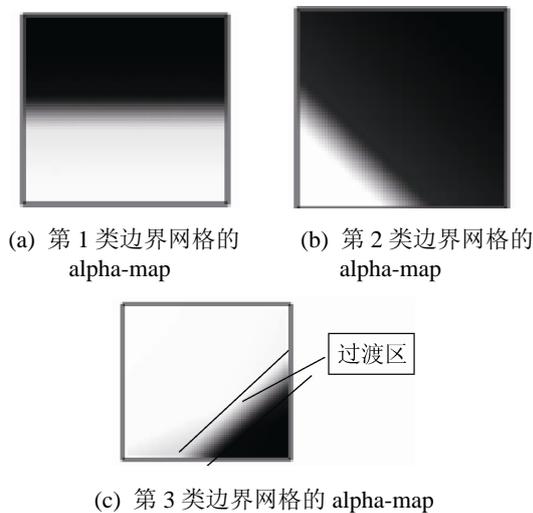


图 10 3 种类型的道路边缘 alpha-map  
Fig. 11 The alpha-map for 3 type road boundaries

## 2.4 道路边纹理融合的实现

在进行纹理映射时, 首先判断网格的类型, 如果网格为地形, 则该网格中地形纹理的权值为 1, 道路纹理的权值为 0, 即只映射地形纹理即可; 如果网格为道路内部网格, 则地形纹理的权值为 0, 道路纹理的权值为 1, 即只映射道路纹理即可。如果是道路边界网格, 则根据 alpha-map 中的像素值进行纹理混合计算, 计算方法如公式(4)所示。

$$C_p = \alpha_p \times T_p + (1 - \alpha_p) \times S_p \quad (4)$$

式中:  $C_p$  为道路边界网格中某一像素点  $p$  处经混合计算得到的最终纹理值;  $\alpha_p$  为道路边界网格中某一像素点  $p$  处地形纹理的权值, 也是 alpha-map 中

某一像素点  $p$  的值;  $T_p$  为道路边界网格中某一像素点  $p$  处对应的地形纹理值;  $S_p$  为道路边界网格中某一像素点  $p$  处对应的道路纹理值。

## 3 实现与结果

基于本文方法我们实现了基于路刷的道路实时生成算法, 使用的数据如表 3 所示。

表 3 本文绘制道路所用的 alpha-map 的大小和数量  
Tab. 3 The size and number of alpha-map used in the method proposed by this paper

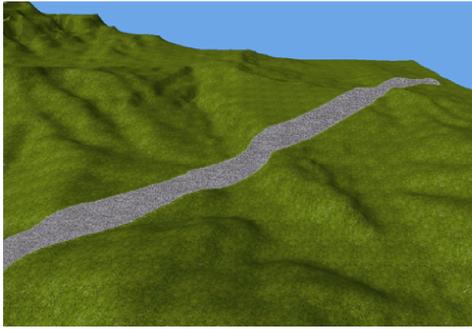
道路宽度 (格网数)	alpha-map 的大小/像素	使用的 Alpha-map
5	32×32	

图 11 展示了近视点和远视点情况下生成的道路, 图 12 展示的是图 11(d)的网格绘制效果。图 13 为利用 UNITY3D 的路刷机制绘制的道路。从视觉效果来看本文方法消除了边界模糊及锯齿形状, 道路边缘变得更为平滑, 自然。如希望道路边界不规则, 则可在 alpha-map 的过渡区加入随机因子干扰权值的分布, 从而模拟不规则道路边界的情况。

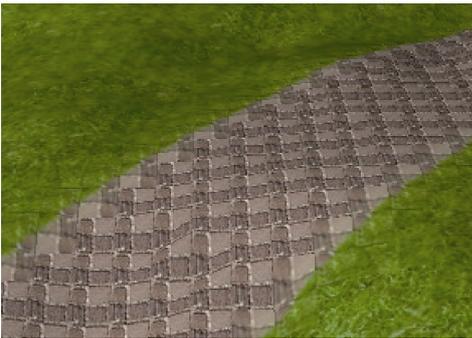
由于采用的是道路边界网格 alpha-map, 本算法只使用 3 个与绘制的地形格网大小相适应的 alpha-map, 如表 3 所示, 所以占用的内存空间少。以本实验为例, 采用的 3 个 alpha-map 的尺寸均为 32×32, 每个 alpha-map 所占空间约为 3 K, 3 个 alpha-map 总共占用的内存空间只有 9 K, 通过重复使用这 3 个 alpha-map 便可以绘制任意长度的道路。



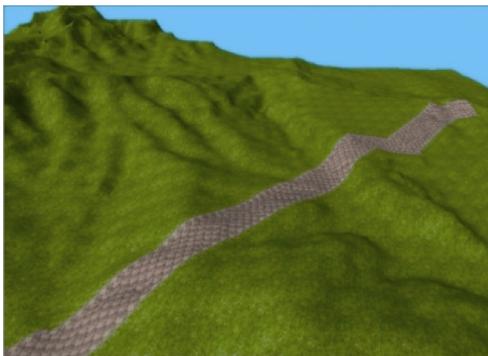
(a) 近视点时的道路 A 效果



(b) 远视点时的道路 A 效果



(c) 近视点时的道路 B 效果



(d) 远视点时的道路 B 效果

图 11 采用本文方法实时生成的道路的效果

Fig. 11 The road generated by the method proposed in this paper

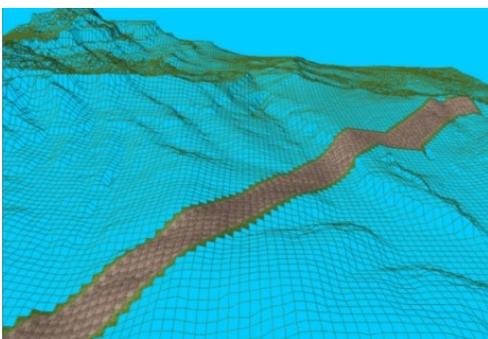


图 12 采用本文方法实时生成的道路的网格显示效果

Fig. 12 The line frame rendering effect of the road generated by the method proposed in this paper



(a) 近视点观察效果



(b) 远视点观察效果

图 13 Unity3D 生成的道路效果

Fig. 13 Road generated by Unity3D

## 4 结论

本文针对基于规则格网地形模型及采用缓冲区机制建立的道路模型的真实感绘制进行研究,通过分析道路边界网格的结构,提出道路边界的构成方法和基于道路边界 alpha-map 的真实感道路绘制技术。本文的主要工作包括:

- (1) 对道路边界网格的构成边进行分类和定义,并通过连接内邻边的中点形成道路的边界线;
- (2) 通过对道路边界线与其所穿越的边界网格形成的道路区域的特点,设置道路边界 alpha-map,并基于此 alpha-map 对道路边界网格设计纹理融合算法。

本文算法的特点是能够以较少的资源消除传统算法中出现的道路边缘锯齿和模糊,增强了道路的真实感。而且本算法使用的道路边界 alpha-map 的数量只有 3 个,与地形的大小以及道路的长短、宽窄均无关。

本文进一步工作将主要集中在以下 2 个方面:

(下转第 1446 页)