

大规模地貌场景的实时纹理合成

朱涛, 罗仕鉴

(浙江大学计算机科学与技术学院, 杭州 310027)

摘要: 提出一种新的高效的大规模三维地貌纹理合成方法。把三维地貌场景进行透视变换投影到平面上, 对这些平面上的三角网格赋予一个连续的缩放因子场, 把给定的纹理缩放成很多级别, 使得可以和网格上的缩放因子相对应, 按二维平面三角面片纹理合成的思想进行合成。实验表明, 该方法在不拉伸纹理的同时能够达到实时, 取得良好的视觉合成效果。

关键词: 纹理合成; 缩放因子; 大规模场景

Real-time Texture Synthesis of Large Scale Physiognomy Scene

ZHU Tao, LUO Shi-jian

(College of Computer Science and Technology, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

【Abstract】 This paper presents a novel real-time texture synthesis algorithm on large scale 3D physiognomy surface. The algorithm contains three stages. It projects the 3D surface onto 2D plane, gives every triangle grid a scale factor which describes what kind of texture to use, synthesizes texture over 2D plane using mip-mapped texture sample. Experiments show that this algorithm can produce very nice real-time results.

【Key words】 texture synthesis; scale factor; large scale scene

1 概述

1.1 背景介绍

纹理映射是绘制复杂场景真实感图形最为常用的技术, 它的速度非常快, 但是还是存在很多问题: 首先由于采样区域的局限, 所获取的纹理样本通常为小块纹理, 若将小块纹理映射到大的平面或者曲面上, 则将导致映射后表面纹理模糊不清, 纹理拉伸扭曲现象严重, 若采用重复映射技术, 则可能出现表面纹理接缝走样^[1]等问题; 其次纹理映射涉及到曲面参数化^[2], 但并不是所有的曲面都可以进行参数化, 即使使用局部参数化, 那么拼接部分也会不连续, 同样也存在问题。

纹理合成技术是当前计算机图形学的研究热点之一。所谓纹理合成即基于较小尺寸的纹理样本生成大幅纹理图案且保持原纹理样本中各个纹理特征的技术。纹理合成技术包括基于过程的方法和基于统计采样的方法, 由于它可以有效地解决传统重复拼接方法所导致的纹理拼接边界不连续、合成纹理呈现周期性等问题, 因此在虚拟现实、计算机视觉、游戏设计等方面有着广泛的应用。但是, 如果要大面积的纹理合成, 那么将要耗费很长的时间和空间, 即使使用加速技术, 如TSVQ^[3], KD-Tree^[4]等, 仍然不能够完全解决这个问题。

1.2 前人的研究工作

基于样图的纹理合成目前主要有2类技术: (1)基于点的纹理合成技术(Point-based); (2)基于块的纹理合成技术(Patch-based)。基于点的纹理合成技术, 主要思想就是每次合成一个点, 根据当前点周围领域到样图里面寻找一个周围领域匹配的给当前点赋颜色值。这类方法代表性的工作见文献[5]。上面2种方法很相似, 是文献[5]方法的一个扩展, 都是把三维模型当作密集的点模型来处理, 纹理方向是用户交互给定的, 合成时把当前点的一些邻近点展到切平面上, 然后重采样得到规则的网格, 就转换到二维纹理合成。基于

块的纹理合成技术, 主要思想就是每次合成的时候把纹理块当作纹理合成的一个单位。这种方法适用于合成大纹理, 速度相对基于点的方法会快很多, 而且基本能够保证纹理的特征以及纹理的完整性。这类方法代表性的工作有很多, Soler的方法比较一般^[6], 首先把网格层次化, 接着开始缝合纹理块, 达到视觉上的无缝效果。Sebastian等的方法是先对样本纹理进行预处理, 然后根据预处理的结果可以很快地找到最佳匹配块。这些方法都是文献[6]的延伸。这类方法的关键问题是块与块之间衔接的视觉连续性。

1.3 本文方法

在虚拟现实环境三维大规模场景漫游时, 本文提供的算法对大面积的相似纹理, 如草地、水面、沙滩、广场等进行纹理合成, 能够真正地做到没有纹理变形, 解决纹理映射的不足, 而且所需存储空间小, 并且能够达到实时的动态漫游。在虚拟环境大规模三维场景交互创建或者改造时, 本文算法可以使得用户很方便地交互变化场景的大小和结构, 很方便地交互变换样图纹理的同时, 实时地进行纹理合成, 而且不需要增加任何额外的开销, 解决了直接在三维场景纹理合成的预处理时间长、资源消耗大、更换新的纹理得重新预处理、不支持动态场景等一系列问题。本文算法的主要思想是把三维的场景模型投影到屏幕上, 然后在屏幕上进行二维的基于三角面片的渐变纹理合成, 这样一些不在视平面内的区域就没有被合成, 这种和绘制结合的方法, 大大提高了合成的速度。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60503068); 国家“863”计划基金资助项目(2006AA04Z103)

作者简介: 朱涛(1981-), 男, 硕士研究生, 主研方向: 图像建模与绘制, 纹理合成; 罗仕鉴, 副教授、博士

收稿日期: 2008-11-12 **E-mail:** zhutao2008@hotmail.com

2 本文算法

本文算法主要分为 3 个步骤：(1)把三维的场景模型首先投影到屏幕上，不在屏幕范围内的三角面片就将被提出，这样就得到视角范围内场景的二维屏幕坐标；(2)对得到的二维平面三角网格赋予连续的缩放场，即每个三角面片赋予一个缩放因子并且保证相邻网格之间的缩放因子是连续的，同时根据缩放场对纹理样图进行缩放，得到不同层次的样图，使得三角网格中每个缩放因子都有对应的层次样图与之对应；(3)按照传统的二维纹理合成的方法对三角网格进行合成。

2.1 屏幕投影

对于一个三维平面或者曲面场景，其表示是使用三角网格表示，在设定视点位置、视点方向、视线方向、投影平面位置后，就可以确定出投影变换矩阵，有了这个矩阵后，可以反求出场景中网格的三维坐标在投影平面上的二维坐标。

2.2 缩放因子场

由 2.1 节得到了二维平面上的三角网格，现在对这个平面上的三角网格赋予连续的缩放场，就是每个三角面片赋予一个缩放因子，但是要保证相邻三角面片之间的缩放因子是连续变化的，其原则是：

(1)计算三维场景中每个三角面片到视点的距离 D_i ，称之为视距，所有的这些 D_i 可以看作是一个离散函数 $D(i)$ 的值域。

(2)计算任意相邻面片 i 和 $i+1$ 之间视距 D_i, D_{i+1} 差值 $\delta i = |D_i - D_{i+1}|$ ，求得 δi 的最大值 $\max \delta$ 。

(3)可以由用户交互式地输入样图缩小程度的程度因子 \minScale ，例如， $\minScale = 0.5$ ，表示样图的大小是在 1~0.5 之间逐渐变换的。

(4)根据上面的程度因子 \minScale ，对给定的纹理样图进行类似金字塔似的缩小，得到多层次的逐步减小的样图，以便合成的时候根据缩放场中的缩放因子找到对应的样图从而进行纹理合成。

(5)为了使得相邻的三角网格对应到相邻的图层，根据先前的这个最大值 $\max \delta$ ，规定 D 函数中的值只有相差 $\max \delta$ 才会在样图层中相差一层，也就是说按 $\max \delta$ 来剖分 D 函数的值域，使它的函数值按照 $\max \delta$ 划分为一层一层的，可以使得相邻三角网格对应的图层是相邻的，从而在渐变的同时保证了纹理的连续性。

(6)每个三角面片的 D_i 值由上面的规定进行计算得到一个 $scale$ 值，其中 $\minScale \leq scale \leq 1.0$ ，这个 $scale$ 值就是对原样图进行缩小时使用的 $scale$ 。因此，每个 $scale$ 将和一个被缩小 $scale$ 倍的图层对应，这样就可以建立一个 $scale$ 与缩小了 $scale$ 倍的图层的之间的一个映射，以得到一个连续变化的缩放因子场，其中，每个三角面片都被赋予一个缩放因子。

2.3 二维渐变合成

根据前面的工作，就可以进行二维平面的渐变纹理合成。主要有以下几个步骤：

(1)确定三角面片的合成顺序，使用堆栈给三角面片排列合成顺序。1)随机选取一个三角面片压入堆栈，然后把它弹出，对它进行合成；同时查看它的 3 个相邻三角面片，如果有还没有进行纹理合成的，则把它压入堆栈。2)弹出一个三角面片，进行合成，同时把它的未合成的邻居压入堆栈，不断地进行这样的操作，直至所有的三角面片都合成完毕。

(2)对于弹出的将对其进行纹理合成的三角面片，使用如下方法：1)检查与当前三角面片相邻的三角面片是否已经合成，如果 3 个邻面片中没有合成好的，则当前的面片根据自

己的 $scale$ 值将在对应的样图层里面随机地选取一个对应三角形面片，这个对应三角面片和当前三角面片是全等的，把这个对应三角面片在它自己样图里面的坐标当作待合成三角面片的纹理坐标。2)如果已经有合成的，则找到这个合成的三角面片在它对应的样图层中的纹理坐标，然后把这个纹理坐标映射到当前三角面片所对应的样图中，其中，这个映射可以取为恒等映射：因为相邻三角面片对应的图层最多相差一层，这样在样图缩小的时候把缩小图层间的间隔调得很小，取恒等映射就不会造成纹理上的不连续性，同时由于是恒等映射，因此几何上也不会有不连续性。然后根据当前三角面片和已合成三角面片的位置关系，类似于以前的方法，寻找当前纹理块的纹理坐标。如果越界，则随机在对应样图层中选取全等的对应三角面片，得到纹理坐标。

(3)在第(2)步中，如果当前三角面片的纹理坐标已经得到，但是另外还有相邻的三角面片已经合成好了，则当前三角面片将和那个相邻三角面片在邻接边界处做颜色混合，这类类似于文献[4]。

3 实验结果与分析

用 PC 对一些草地地貌纹理进行了大规模场景的合成，图 1 是本文实现的些例子。其中，图 1(a)的大小为 512 像素×512 像素；图 1(b)的大小为 512 像素×512 像素；图 1(c)的大小为 933 像素×353 像素；图 1(d)的大小为 942 像素×453 像素。

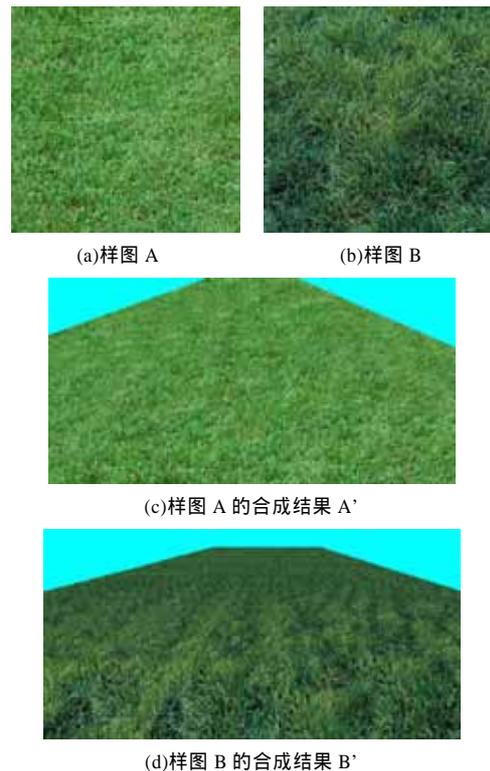


图 1 大规模地貌场景合成结果

在实验中发现以下规律：

(1)纹理样本的大小，要根据三维网格投影到屏幕上的最大三角面片的面积决定，一般把纹理块的大小取作最大屏幕三角形面积的 8 倍~12 倍，以减少寻找匹配三角块的时候越界的几率，获得更好的合成效果。

(2)三角面片的缩放因子的大小，需要有个相对较好的值。根据纹理样本上实际纹理的大小和期望的视觉效果调整缩放因子的上下限，以获得最佳的三维视觉效果。

对实验结果分析如下：

从效果上来讲，采用的这种新的纹理合成的方法，能够达到传统方法的良好透视效果和纹理合成效果。同时，本文的算法能够达到实时的速度，并且不需要对纹理样图做长时间的预处理工作，而是在场景绘制中实时合成。这样，在需要用户交互改变纹理的系统环境中，每改变一张纹理样本，不需要重新做预处理计算，能够达到很好的实时绘制效果。而且，在动态变化的场景中，也不需要到变化后的场景重新做大量的纹理合成计算，而是直接动态合成纹理就可以了，尤其适用于用户交互的三维造型实时绘制。

从图 1 能够看出，样图 A 的纹理结构不是太清晰，最后的大规模合成取得了很好的整体视觉效果，整个合成过渡很平滑，没有视觉断层；样图 B 中的小草，纹理结构非常清晰，这对于纹理合成来说，难度很大，从最后的结果看，整体的效果要略差于纹理结构不清晰的样图 A，偶尔有跳跃的情况出现。

4 结束语

本文提出了一种全新的大规模场景三维纹理实时合成算法，本文算法吸收了文献[4, 6]等算法使用纹理块及纹理相关性进行纹理合成的思想，把三维转化为二维，然后在二维上合成一个渐变纹理。今后的工作主要在以下几方面：在三维场景中，能否赋予三维网格连续的法向量，使得纹理可以有渐变的方向；基于约束的多样图纹理合成和纹理 Morphing 也越来越受到人们的重视，减弱约束减少交互是否可行，多

纹理之间如何连续自然地过渡；纹理特征越来越受到人们的重视，如何提取样图的纹理特征来指导纹理合成的过程将有助于提高纹理合成的质量；纹理元对于保持样图特征的完整性，保持合成结果图的连续性都有积极重要的意义，但是，如何获取和使用纹理元还需要进一步的研究。

参考文献

- [1] Levy B. Constrained Texture Mapping for Polygonal Meshes[C]//Proceedings of SIGGRAPH'01. New York, USA: ACM Press, 2001: 417-424.
- [2] Floater M S. Parameterization and Smooth Approximation of Surface Triangulations[J]. Computer Aided Geometric Design, 1997, 14(3): 231-250.
- [3] Wei L Y, Levoy M. Fast Texture Synthesis Using Treestructured Vector Quantization[C]//Proceedings of SIGGRAPH'00. New York, USA: ACM Press, 2000: 479-488.
- [4] Liang Lin, Liu Ce, Xu Yingqing, et al. Real-time Texture Synthesis by Patch-based Sampling[R]. Microsoft Research, Technical Report: MSR-TR-2001-40, 2001.
- [5] Turk G. Texture Synthesis on Surfaces[C]//Proceedings of SIGGRAPH'01. New York, USA: ACM Press, 2001: 347-354.
- [6] Efros A, Freeman W T. Image Quilting for Texture Synthesis and Transfer[C]//Proceedings of SIGGRAPH'01. New York, USA: ACM Press, 2001: 341-346.

编辑 索书志

(上接第 263 页)

中具体编程实现了系统程序，并在如下环境中进行测试：服务器端使用 Tomcat5.5+SQL Server2000 搭建，客服端采用 WTK2.2 模拟器运行。程序运行后操作如下：

利用 ADSL 网络搭建网络服务器后，在三星 E628 型手机上进行实际运行获得了同样的效果。系统界面如图 6 所示。



图 6 系统界面

系统启动以后，首先进入用户登录部分，要求用户输入用户名、密码，以及联网方式，然后提交到服务器进行用户合法性验证。验证通过，进入系统主菜单后，各种功能将以

列表的形式向用户提供，用户可以根据需要选择相应功能。例如选择“在线列表”，可以查看在线的用户。选择“新建聊天室”功能，将提示用户输入聊天室名称、聊天室密码以及聊天室简介等信息，按下“确定”软键将发送新建聊天室的请求，服务器端在接到请求后将进行相应的合法性验证，通过后即可新建一个聊天室对象。这样其他用户即可加入该聊天室收发消息。

5 结束语

随着移动通信技术的发展和移动终端设备的广泛应用，基于 J2ME 的手机程序正成为移动增值服务的热点，支持移动商务和个人移动通信的应用程序正得到快速的发展和广泛应用。本文采用 J2ME/Servlet 技术构建了一个手机聊天系统模型，并对其进行了分析、模拟实验，其结果表明这一构想是一个具有较好创意的移动应用。

参考文献

- [1] 詹建飞. J2ME 开发精解[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [2] 陈天煌, 张锦恒. 基于 J2ME /Servlet 技术的应用开发与研究[J]. 交通与计算机, 2006, 24(3): 1-2.
- [3] 王 森. Java 手机/PDA 程序设计入门[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [4] 阎 宏. Java 与模式[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.

编辑 金胡考