

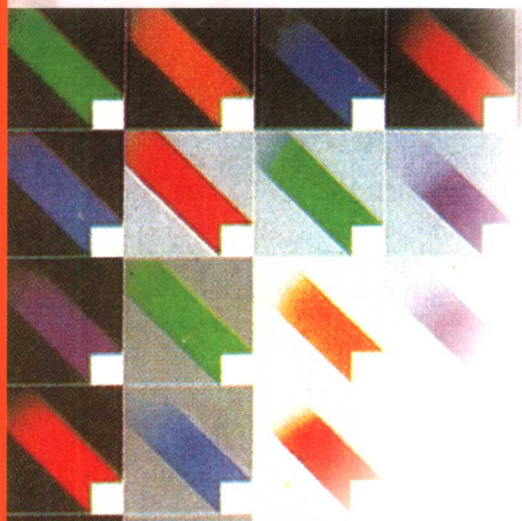
斛兵博士文丛

HUBING BOSHI WENCONG

基于样图的 纹理合成技术研究

著 薛 峰 ● 导师 张佑生

合肥工业大学出版社



合肥工业大学研究生科技创新基金资助出版

基于样图的纹理合成技术研究

著 薛 峰 导师 张佑生

合肥工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

基于样图的纹理合成技术研究/薛峰著. —合肥:合肥工业大学出版社, 2007. 10

(斛兵博士文丛)

ISBN 978-7-81093-679-8

I. 基… II. 薛… III. 图像处理 研究 IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 161880 号

基于样图的纹理合成技术研究

薛 峰 著

策划编辑 马国锋

责任编辑 郑 洁 章 建

出 版 合肥工业大学出版社

版 次 2007 年 10 月第 1 版

地 址 合肥市屯溪路 193 号

印 次 2007 年 10 月第 1 次印刷

邮 编 230009

开 本 710×1000 1/16

电 话 总编室:0551-2903038

印 张 8.25

发行部:0551-2903198

字 数 126 千字

网 址 www.hfutpress.com.cn

印 刷 安徽江淮印务有限责任公司

E-mail press@hfutpress.com.cn

发 行 全国新华书店

ISBN 978-7-81093-679-8

定价:21.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换。

《斛兵博士文丛》出版委员会学术委员会

主任委员：徐枏巍

副主任委员：陈心昭 赵 韩

委员(按姓氏笔画为序)：

史铁钧 刘全坤 陈心昭

张崇巍 杨伯源 费业泰

赵 韩 钟玉海 徐枏巍

出版编辑委员会

主任委员：吴玉程 马国锋

委员：朱 红 孟宪余 曹 兵

郭志勇 王连超 权 怡

出版说明

为贯彻教育部《关于实施研究生教育创新计划 加强研究生创新能力培养 进一步提高培养质量的若干意见》(教研[2005]1号)文件精神,培养研究生创新意识、创新能力,提高研究生培养质量,合肥工业大学设立了研究生科技创新基金,以支持和资助研究生的教育创新活动,为创新人才的成长创造条件。学校领导高度重视研究生教育创新,出版的《斛兵博士文丛》就是创新基金资助的项目之一。

《斛兵博士文丛》入选的博士学位论文是合肥工业大学 2006 届部分优秀的博士学位论文。为提高学位论文的出版质量,《斛兵博士文丛》以注重创新为出版原则,充分展示我校博士研究生在基础与应用研究方面的成绩。

《斛兵博士文丛》的出版,得到了相关兄弟院校和有关专家的大力支持,也得到了研究生导师和研究生的热情支持,我们谨此表示感谢,希望今后能继续得到他们的支持与帮助。

我们力求把这项工作做好,但由于我们经验不足和学识水平有限,书中难免存在不足之处,敬请读者给予批评指正。

合肥工业大学研究生学位论文出版编辑委员会

2007 年 11 月

总 序

当今世界科学技术突飞猛进,知识经济飞速发展,以经济和科技为基础的综合国力的竞争日趋激烈。而科技的竞争、经济的竞争乃至综合国力的竞争,归根结底是人才的竞争。面对新的形势、新的要求,党中央先后作出了实施“科教兴国”、“人才强国”战略和走自主创新道路,建设创新型国家的重大决策。胡锦涛同志在党的十七大报告中又提出,建设人力资源强国和创新型国家是我国全面夺取建设小康社会新胜利的两大新目标。高等学校是国家创新体系的重要组成部分,肩负着培养自主创新型人才的历史使命。研究生教育处于高等教育的最高层次,是国家培养高层次创新型人才的主要渠道。研究生,特别是博士研究生的科研工作,一般处于本学科的前沿,具有一定的创造性。为鼓励广大研究生,特别是博士研究生选择具有重大意义的科技前沿课题进行研究,进一步提高研究生的创新意识、创新精神、创新能力,激励、调动我校博士研究生及其指导教师进一步重视提高博士学位论文质量和争创优秀博士学位论文的主动性和积极性,展示我校博士研究生的学术水平,为他们的尽快成才搭建平台,学校经过精心策划,编辑出版了《斛兵博士文丛》。

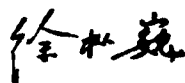
此次入选《斛兵博士文丛》的论著,均为2006年毕业并获得博士学位的博士研究生学位论文,是在广泛动员、严格把关的基础上,根据质量第一、公平公开、规范评审的原则认真遴选出来的。同时这些论著注重坚持基础研究与应用研究并举,是兼顾理论价

值与实践意义的最新研究成果。可以说,这套《斛兵博士文丛》(第一卷)虽然也可能有这样或那样的不足,但基本反映了我校博士研究生所具有的坚实的理论基础、系统的专门知识,以及较高的学术造诣和分析能力;体现了他们崇尚学术、追求真理、勇于创新的科学精神,实事求是、严谨认真的治学态度,不断进取、追求卓越的学术品格;展现了我校“勤奋、严谨、求实、创新”的校风学风。

建校 62 年来,学校充分发挥人才培养、科学研究和服务社会的功能,为国家和社会培养了一大批杰出人才,一代又一代的莘莘学子在这里勤奋耕耘、茁壮成长。出版《斛兵博士文丛》也是我校实施研究生教育创新工程、培养研究生创新精神、提高研究生创新能力的一个重要举措。合肥工业大学经过 62 年的建设和发展,逐步形成自身的办学特色,也取得许多令人瞩目的成就。我们正在不断改善办学条件,逐步完善相关政策,营造有利于高层次创新型人才尽快成长的良好环境,确保学校多出人才、快出人才、出好人才。

我衷心希望广大研究生特别是博士研究生,发扬我校优良的传统、校风、学风,在合肥工业大学自由宽松、开放和谐、充满生机和活力的学术环境中奋发努力、锐意进取、勇于创新,通过自己的辛勤劳动和刻苦钻研写出更好的论文,为进一步提高我校的学术水平、科研创新能力和综合实力作出更大的贡献,努力把学校建设成为国内先进、国际知名的创新型高水平大学。

合肥工业大学校长
教授、博士生导师



二〇〇七年十一月

致 谢

值此论文完成之际,谨向我的导师张佑生教授表示衷心的感谢!张老师将我引入科学研究的道路,使我在科研上有了明确的目标和端正的态度。本文是在导师张佑生教授的精心指导和严格要求下完成的,他对论文提出了很多宝贵意见,并多次对文稿进行了悉心的审阅和修改。张老师敏捷的思维、开拓进取的精神、严谨的治学态度使学生受益匪浅。此外,张老师在生活上给学生的帮助与关怀,也使学生深受感动。再次向张老师致以衷心的感谢!

在论文的完成过程中得到了合肥工业大学韩江洪研究员、蒋建国教授、刘晓平教授、高隼教授、檀结庆教授、梁华国教授、陆阳教授、胡学钢教授、王浩教授、侯整风教授、李刚研究员的热心指导和帮助,在此向他们表示感谢。感谢计算机科学与技术系的沈明玉、郭骏、李心科、田卫东、周国祥、欧阳一鸣等老师在工作上的理解和支持,保证我有一定的时间从事科学研究。

感谢研究生部的朱红老师、林勇老师及其他各位老师,感谢计算机学院的王新生、杨孙梅、徐静、费明、曹航、束海明、王宝珍等老师在日常事务中提供的帮助。

感谢江巨浪老师和江涛同学,使我在与他们的交流和讨论中,产生了一些新的思想,对论文的研究和完成起着重要推进作用。感谢合肥工业大学图形与图像研究室的胡敏、汪荣贵、王焕宝、偶春生、王伟、程玉胜、姚洪亮、王德兴等老师和刘俊娜、谢颖、李妍、袁昊、刘晓龙、王世东、张挺、侯顺风、习雅思、洪沛霖、李剑飞等同学平时给予的帮助。

感谢我的父母,是他们含辛茹苦地养育了我,是他们殷切的期望鞭策着我克服困难,完成论文。衷心感谢我的妻子王敏女士,感谢她对家庭的奉献和操劳、对我的鼓励和支持,使我有足够的精力和信心投入到紧张的研究中,并最终完成论文。

薛 峰

2006 年 4 月于逸夫科教楼

摘 要

基于样图的纹理合成技术(Texture Synthesis from Samples, TSFS)是近年来发展起来的一项新的纹理生成技术,它既克服了传统纹理映射技术可能带来的纹理接缝和纹理扭曲的缺陷,也避免了过程纹理合成(Procedural Texture Synthesis, PTS)参数选择的繁琐过程,因而成为计算机图形学、计算机视觉领域的研究热点之一。

本文首先介绍基于样图的纹理合成技术的国内外研究现状,对 TSFS 的基本模型、原理和经典算法进行了详细地介绍和讨论。在此基础上,本文对 TSFS 技术中若干关键问题展开了深入的研究,主要研究内容如下:

1. 对基于样图的纹理合成技术的研究历史进行较全面的回顾,对其中的经典算法进行了分类,并总结它们的优缺点。

2. 利用纹理图像及其子图像的直方图的相似性,提出一种 Wei&Levoy 算法中 L 邻域最佳尺寸的自动选取算法,避免因为 L 邻域尺寸选取不当而引起的合成时间的增加和合成质量的降低。

3. 提出一种基于灰度辅助纹理和自组织特征映射的纹理合成算法:(1)使用纹理图像的灰度图像作为辅助纹理加速纹理合成过程;(2)提出一种改进的 SOM 神经网络向量的构造、学习和测试方法,对纹理邻域集合进行分类,并使用分类结果进行纹理合成。

4. 对二维实时纹理合成算法展开了深入的研究,主要包括:(1)介绍基于最大梯度和灰度相关匹配的 Image Quilting 加速算法,基本达到实时性要求;(2)提出一种新的纹理贴块——s-Tiles 生成算法,并使用 s-Tiles 实时合成高质量的纹理。此外,还提出一种基于 s-Tiles 的应用——“纹理句子”的实时生成,达到了很好的效果。

5. 研究三角网格曲面的快速纹理合成。首先由输入样本纹理使用随机

顺序纹理合成算法生成一个新的用于曲面纹理合成的样本纹理,然后提出一种基于“纹理延伸”和梯形模板匹配的快速曲面纹理合成算法,实验表明该算法合成质量良好,提高了基于三角块拼接的曲面纹理合成算法的合成速度。

6. 研究基于纹理合成技术的地壳运动中的皱褶现象仿真。首先讨论方向可控纹理合成算法理论及其应用,然后提出一种地壳运动中的皱褶现象仿真算法并给出仿真结果。

关键词: 计算机图形学;纹理合成;邻域;网格曲面

ABSTRACT

Texture Synthesis from Samples(TSFS) is one of the new techniques for texture generation in recent years. TSFS can eliminate some defects of texture mapping technique, such as texture seams and texture distortions, moreover, it can avoid the complex processes of parameter selection for Procedural Texture Synthesis(PTS). TSFS has quickly become one of the research hotspots in computer graphics and computer vision recently.

In this dissertation, we focus on the study on TSFS technique. In the first part of this dissertation, we review the results of TSFS research and introduce its basic model, principle and typical algorithms. The main part of this dissertation concerns some key problems on TSFS, including:

1. We review the history of TSFS research and classify the typical TSFS algorithms into different categories and conclude their advantages and disadvantages.

2. Basing on the histogram similarity between texture image and its sub-images, we present a new method for determining the optimal size of L neighborhood in Wei&Levoy texture synthesis algorithm.

3. We provide a new texture algorithm based on gray image of input texture and Self-Organized Feature Maps(SOM). Firstly, we use the gray image of input texture as an aiding guidance to accelerate the process of texture synthesis. Then, a new method for constructing, training and testing SOM vectors was proposed, which is used to classify the vectors constructed from L neighborhood of output pixels. We use the classified results to speed up the output texture generation.

4. Real-time texture synthesis is well researched in chapter 4: (1) we present a new method of image mosaic based on maximum grads and intensity correlation, and we use this improved image mosaic method to accelerate Image Quilting algorithm. (2) A new texture tiles—s-Tiles generating method is proposed, which can be tiled into arbitrary size of output in real-time. We also present a novel application of s-Tiles—“Sentence Tilings”.

5. A new technique of texture synthesis on arbitrary surfaces is proposed. We firstly generate a new tillable texture from input using Wei's Random Order Texture Synthesis algorithm, which will be used as a sample for consequent texture synthesis on surfaces, then, we synthesis “texture extension” method and template matching method to calculating texture coordinates for each triangle according the number of its synthesized neighbor. Our texture synthesis method on arbitrary surfaces can produce better results in little time than previous methods.

6. In the sixth chapter, we provide a novel application—geological folds simulation using orientation-controlled textures synthesis algorithm. The experimental results show that our simulation algorithm is automatic, feasible and easy to be extended to any other shaped folds.

Key words: Computer graphics; Texture synthesis; Neighborhood; Curved surfaces

目 录

第 1 章 绪 论	(001)
1.1 基于样图的纹理合成研究内容和意义	(001)
1.2 国内外研究历史与现状	(006)
1.3 本文的研究内容与安排	(011)
第 2 章 Wei&Levoy 算法中 L 邻域最佳尺寸的自动选取	(012)
2.1 马尔可夫随机场模型	(012)
2.2 Wei&Levoy 单分辨率合成算法	(016)
2.3 L 邻域最佳尺寸自动选取算法	(019)
2.4 本章小结	(025)
第 3 章 基于灰度辅助纹理与 SOM 的纹理合成算法	(026)
3.1 TSVQ 纹理合成算法	(027)
3.2 灰度纹理辅助合成算法	(031)
3.3 基于灰度辅助纹理与 SOM 的纹理合成算法	(033)
3.4 实验结果与分析	(042)
3.5 本章小结	(044)
第 4 章 基于块拼接的实时纹理合成	(045)
4.1 基于块拼接的典型纹理合成算法	(046)
4.2 Image Quilting 加速算法	(050)
4.3 基于 s-Tiles 实时合成算法	(058)

4.4	基于 s-Tiles 的“纹理句子”合成	(070)
4.5	本章小结	(072)
第 5 章 三角网格曲面的快速纹理合成		(073)
5.1	引言	(073)
5.2	本章算法概述	(074)
5.3	三角网格曲面合成算法预处理	(076)
5.4	曲面纹理合成	(082)
5.5	算法后处理	(085)
5.6	实验结果与分析	(087)
5.7	本章小结	(090)
第 6 章 基于可控纹理合成的褶皱现象仿真		(091)
6.1	可控纹理合成算法	(091)
6.2	基于方向可控纹理合成的褶皱现象动态仿真	(096)
6.3	本章小结	(102)
第 7 章 总结与展望		(103)
7.1	全文总结	(103)
7.2	进一步研究展望	(104)
参考文献		(105)
科研项目		(115)

第1章 绪论

1.1 基于样图的纹理合成研究内容和意义

1.1.1 纹理及其特点

广义的纹理是指自然界中大量存在的一种重复现象,诸如工厂里机器的噪音、人的有规律的运动(如跑步、面部表情等)以及物体表面的颜色和形状等。而在计算机图形学领域内,纹理通常是指一种特殊的图像,该图像的任意部分在视觉上都具有相似性,但又不完全相同。这种二维纹理图像可以认为是具有局部性和稳定性的随机过程的实现,即纹理中的每一个像素点都可以由其空间邻域内的像素的集合来表达和确定[Wei2002]。

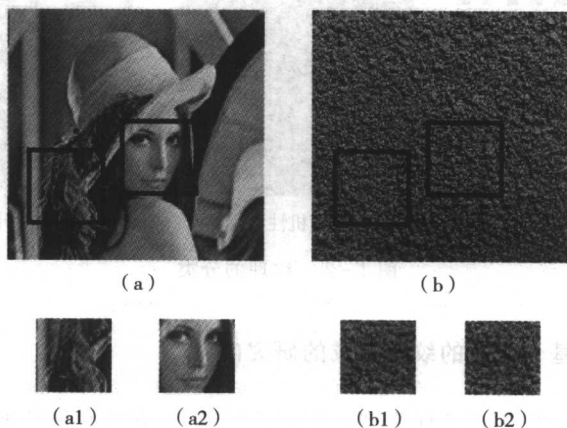


图 1-1 普通图像与纹理的区别

如图 1-1 所示,图 1-1(a) 是一副 Lena 图像,图 1-1(b) 是一种纹理。假设只允许观察者通过较小的窗口(图 1-1 中黑框)来观察它们,当移动窗口时,对于图 1-1(a) 所示的普通图像,观察者看到的两幅子图像具有明显区别,而对于图 1-1(a) 所示的纹理图像,观察者看到的两幅子图像则具有明显的相似性。

从图 1-1 可以看出,纹理图像具有以下两个特点:

(1) 稳定性:是指在图 1-1 所示的观察窗口大小合适的前提下,移动窗口时所看到的内容具有相似性;

(2) 局部性:是指图像中的任一像素可以由其周围邻域内的像素预测得到,而与图像中的剩余部分无关。

纹理的形式是多种多样的,按照能否从其内部分辨出纹元可以分为以下三类[Xu2001]:

(1) 结构性纹理:由固定纹元按照一定规则排列而成的纹理,如图 1-2(a) 所示;

(2) 随机性纹理:这种纹理内部没有明显的纹元,如图 1-2(b) 所示;

(3) 半结构、半随机性纹理:自然界的大部分纹理属于这一类,人们在其内部可以分辨出纹元,但是纹元与纹元之间有一定的差异,而且纹元的排放也不是很规则,如图 1-2(c) 所示。

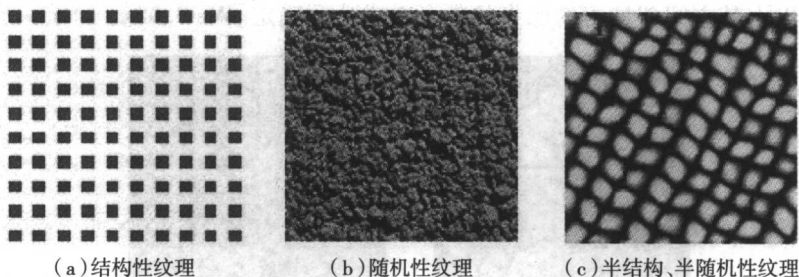


图 1-2 纹理的分类

1.1.2 基于样图的纹理合成的研究内容

纹理技术可以表现几何模型无法体现的细节,弥补几何绘制的不足,在基于图像的真实感绘制中占据重要的地位。[Cat1974] 首先提出纹理映射的方

法,实现曲面纹理的绘制,获得了很好的视觉效果和绘制效率。[BN1976]扩展了这一思路,在曲面上添加了反射和高光效果。但是,传统的纹理映射技术在绘制大面积纹理和曲面纹理时会引起纹理接缝和扭曲等缺陷[PBJ1999],使其进一步的推广应用受到影响。纹理合成技术能有效克服这些缺陷而成为近年来计算机图形学、计算机视觉、虚拟现实等领域的研究热点。

目前纹理合成可分为过程纹理合成(Procedural Texture Synthesis, PTS)和基于样图的纹理合成(Texture Synthesis From Samples, TSFS)。PTS通过对物体物理生成过程的仿真直接在表面生成纹理,如毛发、云雾、木纹等,真实感强,但是每一种过程纹理相关参数的选择十分繁琐,需要反复测试,有时还无法达到满意的合成结果[XBM2002]。TSFS是近几年发展起来的一种新的纹理合成技术,其基本思想:基于给定小样图的纹理特征,生成大面积的曲面纹理,并保证纹理结构的连续性和相似性,如图1-3所示。TSFS既克服了传统纹理映射的缺点,又避免了PTS中的参数选择的繁琐过程,因而受到越来越多的关注。

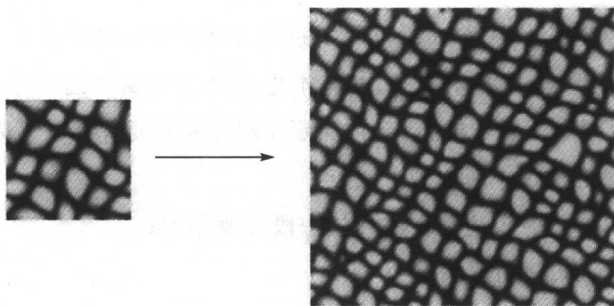


图1-3 基于样图纹理合成示意图

从20世纪90年代末至今,几乎每年的SIGGRAPH、EuroGraphics、CGI等重要国际学术会议都有关于TSFS研究方面的文章。这些研究成果主要集中在以下几个方面:

1. 二维纹理合成

二维纹理合成是TSFS领域的研究者首先提出并进行研究的课题。其主要内容是根据输入样本纹理图像,研究一种算法生成与输入纹理图像在视觉上相似、并保持足够变化的任意面积的输出纹理图像。近10年来,二维纹