

学校编码: 10384

分类号_____密级

学号: 19020141152608

UDC

廈門大學

碩 士 学 位 论 文

针对 3D 打印的图像线刻画生成方法

Line Drawing for 3D Printing

沈子富

指导教师姓名: 曹娟 副教授

专业名称: 计算数学

论文提交日期: 2017 年 5 月

论文答辩时间: 2017 年 5 月

学位授予日期: 2017 年 月

答辩委员会主席:

评 阅 人:

2017 年 5 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

非真实感绘制是计算机图形学的一个新的研究热点,它要求利用计算机生成具有手绘风格的图形。图像的点刻画和线刻画作为非真实感渲染的一种表现手段,它们旨在用最简单的几何元素点或线表达一幅图像的特征信息,例如通过线条来刻画轮廓特征,通过点或者线条的疏密来表现色调的明暗和纹理等。因此,如何设计生成保持图像特征的点刻画和线刻画被许多图形学工作者所研究。

本文针对 3D 打印应用,提出一种保持图像特征的线刻画方法。该方法首先利用分水岭算法对图像进行分割,将分割的边界线提取为特征线,结合带权 Voronoi 点刻画方法进行 Lloyd 迭代,迭代过程中保持特征线上的点不动,迭代完成后对特征线上的点根据局部点分布进行重采样,由此得到保持图像特征的点刻画。基于点刻画的结果,将图像线刻画生成问题转化为 TSP 问题,并在图像分割的基础上利用 LKH 算法分块高效求解。

相比之前线刻画方法,本文的方法针对于 3D 打印设计。随着 3D 打印技术的推广,人们可以利用 3D 打印机个性化打印自己喜欢的物品,目前 3D 打印应用较多的是设计一个三维模型并对其打印,但将 3D 打印机应用于打印平面图像鲜有涉及。而一般的线刻画方法并不适用于 3D 打印,这是因为一些线画方法没有考虑打印机特性,产生的线画线条出现交叉、过于密集、分段数较多,这会使得打印结果出现拉丝、挤压等现象,影响打印效果。最后,本文所用方法与其他方法对比实验结果表明,利用该方法生成的线刻画既能保持图像特征信息,又能体现图像灰度信息,而且生成的线刻画具有线条分段数目少,总长度短等特点,适合于 3D 打印机打印。

关键词: 图像分割; 图像点刻画; TSP 问题; 图像线刻画; 3D 打印

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

In the research field of computer graphics and vision, non-photorealistic rendering (NPR) has become a hot topic in recent years, which requires using the computer to generate graphics with hand-painted style. Stippling and line drawing as one of NPR performance, they aim to use simple geometric elements such as points and lines to capture the characteristics of image, for example, they use lines to portray contour feature, or use the density of points or lines to reflect the tone and texture etc. Therefore designing a simple, natural and efficient stippling and line drawing have been a research focus in computer graphics for a long time.

Aim at 3D printing application, this paper puts forward a line drawing method of keeping image features. The method uses the watershed algorithm for image segmentation in the first place, then regards the segmentation boundary as the feature line and extract it. Then we use the Lloyd iterations to relax the points, during the process we remain the points on the feature line, and the interior points move to the center of voronoi cells. After the completion of the iterations, we resample the feature line and getting the stippling of keeping image feature. Based on the result of stippling, the problem can be converted to TSP problem, and we use LKH algorithm to solve in block efficiently.

Comparing with the previous methods, our method designs for 3D printing. With the promotion of 3D printing, people can make use of 3D printers to printing items personally that oneself like. As everyone knows, 3D printer is widely applied to print a 3D model, but applying 3D printer to print image rarely involved. And the general line drawing methods are not suitable for 3D printing, this is because they do not consider the printer requirements, their lines may be intersecting, too dense, or the line segments may be too many, these will lead to wiredrawing, nozzle extrusion etc., and affect the appearance of printing result. In the end, this paper shows the comparison of our method with other popular line drawing techniques, including edge detection, TSP art, vector field visualization and weighted line drawing. From the perspective of line drawing and 3D printing result, our method outperforms others in that it is not only

capable of capturing image features, but also capable of depicting them with smooth and coherent lines and suitable for 3D printing.

Key words: image segmentation; Image stippling; TSP problem; line drawing; 3D printing

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目录

第一章 绪论	1
1.1 图像线刻画概述	1
1.2 3D 打印技术	2
1.3 章节安排.....	3
第二章 国内外研究现状	5
2.1 边缘检测.....	5
2.2 向量场可视化	7
2.3 TSP 艺术	11
2.4 基于 Lloyd 迭代的线刻画.....	14
2.5 3D 打印技术	15
第三章 背景知识	18
3.1 Voronoi 图及其构建	18
3.1.1 Voronoi 图的定义	18
3.1.2 Delaunay 三角网和 Voronoi 图的构建	18
3.2 带权 voronoi 点刻画	19
3.3 旅行商问题	20
3.4 图像分割.....	23
3.5 道格拉斯-普克算法	24
第四章 针对 3D 打印的图像线刻画生成方法	26
4.1 基于图像分割的特征提取	26
4.2 生成保持图像特征的点刻画	28
4.2.1 点的数量	28
4.2.2 保边界 Lloyd 迭代与边界重采样	30
4.3 构造线刻画.....	31

4.3.1 TSP 算法生成线画	31
4.3.2 线画结果优化.....	33
4.4 图像线画的 3D 打印	35
4.5 本文方法的总结与探讨	36
4.5.1 本文的算法流程.....	36
4.5.2 密度函数的选取.....	38
4.5.3 采用 CLKH 算法连接特征线.....	39
第五章 实验结果.....	41
5.1 本文方法的结果分析.....	41
5.2 本文方法的对比分析.....	44
5.3 本章总结	47
第六章 总结与展望	48
6.1 文章总结.....	48
6.2 未来工作展望	50
参考文献.....	52
研究生期间发表的论文.....	56
致谢.....	57

Contents

1. Introduction.....	1
1.1 Overview of Line Drawing.....	1
1.2 3D Printing Technology	2
1.3 Chapters Arrangements.....	3
2. Related Work	5
2.1 Edge Detection.....	5
2.2 Vector Field Visualization	7
2.3 TSP Art	11
2.4 Line Drawing Based on Lloyd’s Iteration	14
2.5 3D Printing Technology	15
3. Background Knowledge.....	18
3.1 Voronoi Diagram and its Donstruction	18
3.1.1 Voronoi Diagram	18
3.1.2 Delaunay Triangulation and Voronoi Diagram Contruction.....	18
3.2 Weighted Voronoi Stippling	19
3.3 Traveling Salesman Problem	20
3.4 Image Segmentation.....	23
3.5 Douglas-Poke Algorithm	24
4. Line Drawing for 3D Printing	26
4.1 Feature Extraction	26
4.2 Image Stippling of Keeping Image Feature	28
4.2.1 Point Number	28
4.2.2 Lloyd’s Itertion and Resample.....	30

4.3 Line Drawing Contraction	31
4.3.1 Line Contraction using TSP Algorithm	31
4.3.2 Line Optimization	33
4.4 3D Printing of Line Drawing	35
4.5 Summary and Discussion of Our Method	36
4.5.1 Algorithm Process of Our Method.....	36
4.5.2 Density Function Selection	38
4.5.3 Line Contraction using CLKH Algorithm	39
5. Results	41
5.1 The Analysis of Our Method	41
5.2 The Comparison between our Method with Others	44
5.3 Summary	47
6. Summary and Future Work	48
6.1 Summary	48
6.2 Future Work	50
References	52
Publications and Work	56
Acknowledgement	57

第一章 绪论

1.1 图像线刻画概述

线刻画，作为非真实感绘制的一种，它利用线条表达图像的特征信息。传统的线刻画技术可以上溯到绘画产生的原始社会时期，距今至少有七千余年的历史。最初的中国绘画，是画在陶器、地面和岩壁上的，渐而发展到画在墙壁、绢、和纸上，使用的基本工具是毛笔和墨，以及天然矿物质颜料。画师通过线条来表示图像的特征信息，辅助以颜料表示图像的色彩。例如简笔画，寥寥数笔即勾勒出图像的轮廓特征，这是最简单的线画表达方式。又如工程师制作一幅浮雕，他需要知道雕刻的路线，这也是线刻画。



图 1-1 人物简画（图片来自网络）

1986 年，Canny 提出了 Canny 边缘检测算子^[1]，此后产生了许多边缘检测算子，我们可以通过边缘算子得到图像的轮廓图，这可以看作较为原始的线刻画。但这种线画结果并不是连续的，因为存在许许多多间断的线条。最早的连续性线刻画是通过解旅行商问题获得的，也被称作 TSP 艺术^[2]，该方法首先采用带权点刻画得到图像的点画图^[3]，将每个点看作一个个城市，通过解决旅行商问题获得。TSP 艺术得到的线刻画线条的间距能够较好反映了原始图像的灰度分布特征，但是对于轮廓特征不能较好保持，所以还不够“形象”。寻找更加有效的线刻画方

法，使得线画结果能够保持图像的轮廓和灰度特征是本文的主要目标，并且希望利用 3D 打印机将线画结果打印出来，得到具有手绘风格的小“艺术”品。



图 1-2 TSP 艺术^[2]得到的线刻画

1.2 3D 打印技术

3D 打印即快速成型技术的一种，它出现于 20 世纪 90 年代中期，是一项新兴的技术，它以数字模型文件为基础，运用粉末状金属或塑料等可粘合材料，通过逐层打印的方式来构造物体的技术。3D 打印技术改变了传统的减式材料制造模式，带来了制造工艺和生产模式的变革，极大的推动了 3D 数字化相关技术与研究发展。近年来，3D 打印越来越改变着人们的生活方式和工作方式，比如人们可以个性化定制自己喜欢的东西，产品可以就近打印，非常方便。目前流行的 3D 打印技术主要用于三维物体的打印。

关于 3D 打印方面，近些年的研究根据问题特点可将其分为几何优化、结构分析、材料表面效果定制、机构设计、自支撑结构设计、内部结构设计等六大类^[4]，近些年来 3D 打印的研究主要聚焦在优化和调整模型使之适用于 3D 打印，例如模型镂空或内部加支撑以节省材料^[39, 40]，对模型进行分解和组合以便在有限的平台打印更大的模型^[41, 42]，减少支撑结构防止撤销支撑结构造成模型表面刮擦^[43]等。目前通过一些非真实感渲染手段可以得到图像的线刻画，例如边缘检测相关的算子可以提取图像的重要线条^[5, 6, 30, 31, 32, 33]，以及 TSP 艺术等^[2, 12, 13]，但是这些方法并不能较好体现原始图像的轮廓和灰度变化信息，也并没有考虑到 3D 打印机的

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库