

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学号: 23220101153219

UDC _____

硕 士 学 位 论 文

基于热核函数的头骨重建算法

Human Skull Repairing Technologies Based on Heat Kernels

余 威

指导教师姓名: 李茂青教授

Prof. Xin Li(LSU)

专业名称: 控制工程

论文提交日期: 2013年 月

论文答辩时间: 2013年 月

学位授予日期: 2013年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2013年 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

在人类学与法医学中，专家们常常利用发掘得到的头骨来还原死者生前的面貌。由于自然环境的侵蚀与人为的破坏，挖掘出额骨骼往往呈碎片状，并且在面部等包含丰富几何信息的区域出现破洞、裂隙等数据丢失的问题，直接对这些碎片进行分析处理是十分困难的。随着三维扫描技术的发展，三维扫描仪能够将实际的头骨扫描成电子数据存储在计算机内，并利用几何处理技术来对头骨模型进行还原和修复，还原得到的头骨模型为后续的分析处理工作带来极大的便利。因此，做为脸部重建的预处理程序，头骨模型的还原与修复是计算机图形学的重要研究课题，本文针对计算机环境下的头骨碎片拼接与破洞修补提出了解决方法。

本文介绍了半边数据结构和头骨数据在计算机中的表现形式，分析了其在头骨修复上的优点；介绍了热传导方程和热核函数，并讨论了拉普拉斯算子和随机抽样一致性算法在本研究课题的应用。

针对头骨模型的局部匹配问题，本文提出了基于热核函数的局部匹配算法，并从数学上论证分析了该算法应用在局部匹配问题上的高效和鲁棒性。碎片模型被匹配到一个头骨模板模型上，并找到头骨碎片之间的相对几何位置。

针对头骨模型的修补，本文整合了多种修补算法，提出了基于模板模型的头骨模型修补框架。从数据库中选取出与头骨碎片类似的头骨作为模板，结合碎片的HKS特征作为初始匹配并使用随机抽样一致性算法进行局部优化；在对碎片和模板进行刚性配准之后，分析碎片边缘曲线的几何信息，采用基于边缘曲线的拼接算法。经过这两步的拼接过程，使头骨碎片被精确的拼接到一起。

基于以上的理论研究，本课题组还开发了人机交互的头骨模型拼接修补系统，该系统能够方便的为拥有专业知识的工作人员提供模型拼接修补流程必要的引导。该系统基于OpenGL开发，采用C++实现整个工程框架，在实践中被证明了具有较高的鲁棒性。本文还演示了大量的实验结果，实验结果使用三维数据可视化软件进行了渲染。

本文最后总结了现有算法的特点和不足，也对于头骨修复问题提出了未来的理论研究方向。

关键词：热核函数；局部匹配；头骨修复

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

With the development of science and technology, facial reconstruction based on human skull is integrated by many disciplines, and has been continuously evolving and developing. To protect the original skull from any damaging, skulls are usually transformed into digital data by 3D scanner and stored in computers as triangle mesh. Skulls are sometimes fragmented; facial regions with rich geometric information could be fragile and contain holes and intersections. Fragments-assembling and hole-filling are the essence and premise for further facial reconstruction. And 3D modeling and repairing are important researching topics in computer graphics and the focus of this thesis.

This thesis discusses half-edge data structure and the representation of skull data in computer. The concept of Laplace operator on surface and the discretization method are introduced. We introduced the heat operator and heat kernels. And the application of RANSAC in skull completion are also concluded.

For partial matching of the skull fragments, this thesis develops a shape descriptor based heat kernels for skull assembling and discusses why such a descriptor is ideal for this reassembly task. Fragments are matched with a complete template skull to find their spatial relationship with other sub-patches. A heat diffusion analysis based feature extraction is proposed to improved the Skull assembling efficiency. A reliable partial matching based on the heat kernel signature is proposed, so that fragments can be reliably assembled.

This thesis presents a complete pipeline for skull fragments assembling and data completion. The entire assembly pipeline has three steps: (1) fragment-template matching based on heat-kernel; (2) matching refinement based on RANSAC and assembly computation; (3) assembly refinement using least square transformation error (LSTE) of break-curves. we further employs a data completion algorithm based on symmetry and template, which is used to repair the holes and intersections on the skull model.

In this project, we develop a digital skull modeling system for analyzing and processing skull data. The system is implemented in C++ with OpenGL libraries. Experimental results are demonstrated and visualized. We compare each step of our completion pipeline with existing methods to show our advantages. Finally, the thesis is concluded by discussing future research directions for potential improvements.

Key Words: Heat Kernels; Partial Matching; Mesh Repairing

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

摘要	I
Abstract	III
第一章 绪论	1
1.1 头骨重建技术概述.....	1
1.2 拟解决的关键科学问题与本文的主要贡献.....	3
1.3 文章结构	6
第二章 头骨模型重建中的数据结构和数学基础.....	9
2.1 半边数据结构	9
2.2 拉普拉斯算子	11
2.3 热传导方程与热核函数.....	14
2.4 随机抽样一致性算法	16
2.5 本章小结	18
第三章 基于热核函数的局部匹配算法	19
3.1 背景和相关研究工作	19
3.2 基于热核函数的描述子及其特性.....	21
3.2.1 多尺度特性.....	21
3.2.2 信息存储性.....	22

3.2.3 比例不变性.....	23
3.2.4 稳定性	26
3.3 离散化和数值计算.....	27
3.4 本章小结	29
第四章 基于模板模型的头骨修复框架	31
4.1 背景和相关研究工作	31
4.2 头骨模型的特征提取	32
4.3 头骨碎片模型的刚性配准	34
4.3.1 初始映射	34
4.3.2 RANSAC 局部优化.....	36
4.3.3 计算碎片模型的局部配准	38
4.3.4 基于边缘曲线的全局优化过程	39
4.4 基于模板和对称性的迭代头骨修补框架	41
4.5 实验结果	43
4.6 本章小结	45
第五章 数字化头骨建模系统.....	47
5.1 系统构架	48
5.2 系统演示	48
5.3 本章小结	48

第六章 总结与展望	49
6.1 论文工作总结	49
6.2 研究工作展望	49
参考文献	51
攻读硕士期间发表的学术论文	55
致谢	56

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Contents

Abstract(In Chinese)	I
Abstract(In English)	III
Chapter 1Introduction	1
1.1 Skull Completion Overview	1
1.2 Current Work and Limitation	3
1.3 Paper Structure	6
Chapter 2Basic Data Structure and Mathematics of Computer Graphics	9
2.1 Half-Edge Data Structure	9
2.2 Laplace Operator.....	11
2.3 Heat Operator and Heat Kernels	14
2.4 Random Sample Consensus.....	16
2.5 Chapter Summary	18
Chapter 3Partial Matching Algorithm Based on Heat Kernels	19
3.1 Background and Related Work	19
3.2 Heat Kernel Shape Descriptor and its Properties for Geometric Reassembly	21
3.2.1 Multi-scale Property	21
3.2.2 Informative Property.....	22
3.2.3 Scaling-invariant HKS Matching	23
3.2.4 Stability	26
3.3 Discretization and Numerical Implement	27
3.4 Chapter Summary	29
Chapter 4Template-Based Skull Completion	31
4.1 Background and Related Work	31
4.2 Feature Detection	32
4.3 Rigid Registration of Skull Fragments	34
4.3.1 Initial Matching.....	34
4.3.2 RANSAC Refinement	36
4.3.3 Local Registration	38

4.3.4 Global Optimization of Skull Registration	39
4.4 Template Based Skull Completion.....	41
4.5 Experimental Results	43
4.6 Chapter Summary	45
Chapter 5 Digital Skull Modeling System	47
5.1 System Structure.....	48
5.2 System Demonstration	48
5.3 Chapter Summary	48
Chapter 6 Conclusion and Future Work	49
6.1 Conclusion	49
6.2 Future Work.....	49
Reference	51
Publication	55
Acknowledgement	56

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