

学校编码: 10384

学号: 200428025

分类号 _____ 密级 _____

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于 CT 数据的鼻咽癌虚拟手术计划系统

关键技术研究

Research on Key Techniques of Virtual Surgery Planning
System of Nasopharyngeal Carcinoma Based on CT Data
Set

郑 朝 炜

指导教师姓名: 王 博 亮 教 授

专 业 名 称: 计 算 机 应 用

论文提交日期: 2007 年 4 月

论文答辩时间: 2007 年 5 月

学位授予日期: 2007 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2007 年 4 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文，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的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密（ ），在 年解密后适用本授权书。
2. 不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘 要

人体器官的建模与仿真是当前国际上生物医学工程领域研究的前沿课题，它涉及了医学，计算机科学，物理学，电子学等多个学科领域，是一项多学科交叉的研究课题。鼻咽作为人体中一个结构极为复杂且十分重要的器官，其建模仿真与手术计划系统的实现具有十分重大的临床意义。

本文针对鼻咽癌虚拟手术计划系统中若干关键技术进行了系统深入地研究。首先，根据 CT 图像的特点，设计了一个较好的平滑滤波算法，滤除 CT 图像中高频部分对图像分割的干扰。接着详细研究了现有的图像分割算法对 CT 图像的分割效果，探索出一种针对具有复杂结构的鼻咽部 CT 图像进行分割的算法，该算法可以分割鼻咽部及其周围组织。在此基础上，建立鼻咽部组织解剖结构数据库。之后，对三维重建技术进行了研究，针对传统绘制算法速度慢和医学影像数据量大的特点，提出了一种改进的表面重建方法。最后，实现了一个用于鼻咽癌诊断和治疗的初步虚拟手术计划系统。

本文的研究工作内容及创新主要包括以下几点：

1. 针对 CT 图像的特点，使用基于梯度信息的平滑滤波算法对图像进行滤波。之后，提出了一种基于动态阈值的 Canny 边缘检测算法，较好地实现了鼻咽部表面轮廓的分割。实验表明，相对于纯手工分割方法，此方法在效率上有大幅度的提高；而与全自动分割相比，其准确率更好，可靠性高。
2. 采用表面重建和体重建方法重建鼻咽部三维形态，比较两者的优劣。同时，针对传统绘制算法速度慢和医学影像数据量大的特点，提出一种改进的表面重建算法。实验表明，该算法简化了运算，提高了重建的效率。
3. 开发了用于鼻咽癌诊断和治疗的初步虚拟手术计划系统。实现了鼻咽部组织多彩色重建、透明度调整、立体空间旋转与定位以及放射剂量浓度梯度三维显示的初步功能模型。

关键词：鼻咽癌；图像分割；三维重建

厦门大学博硕士学位论文摘要库

ABSTRACT

The modeling and simulation of human organs is one of the frontier areas of biomedicine research. It is a multi-disciplinary topic, including computer science, physics, electronics and related medical knowledge. As one of the most important and complex organs within human body, nasopharyngeal tissue's virtualization and surgery planning system plays a significant role in the practice of medicine.

In this thesis, some key technologies of virtual surgery planning system of nasopharyngeal carcinoma are investigated systematically. Firstly, According to the traits of clinic CT data, we design a comparatively good filtering algorithm to filter the high-frequency interference from the CT image Data. Secondly, we investigate the segmentation result of many existing algorithms, and explore a new algorithm for extracting nasopharyngeal tissue and its surrounding pipelines. Based on the segmentation's result, we build the anatomy database of nasopharyngeal tissue. Thirdly, the 3D reconstruction technology is studied. Because of the slow rendering rate of traditional algorithms and mess medical volume data, we introduce an improved surface reconstruction method. Finally, we implement a demo system of virtual surgery planning system of nasopharyngeal carcinoma.

In this thesis, some innovations had been done in the following aspects:

1. According to the traits of clinic CT data, the filtering algorithm based on Gradient Information is used. Then the Canny edge detection algorithm based on the dynamic threshold is introduced in order to extract nasopharyngeal outline. The method is more efficient than the sole manual segment and more accurate than the automatic segment.
2. Nasopharyngeal 3D reconstruction is implemented by the surface and the volume reconstruction methods, and the comparison is given on the advantages and disadvantages of the two reconstruction methods. Meanwhile, Because of the slow rendering rate of traditional algorithms and mess medical volume data, we introduce an improved surface reconstruction algorithm. The algorithm is proved to be simple and efficient.
3. Develop a demo system of virtual surgery planning system for nasopharyngeal carcinoma diagnosis and treatment. The preparatory physical model is realized.

Keywords: Nasopharyngeal Carcinoma; Image Segment; 3D Reconstruction

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 课题的背景和意义	1
1.2 国内外研究现状	3
1.3 本课题的研究工作及创新之处	4
1.4 本文的组织结构	6
第二章 数据的获取、鼻咽部组织解剖结构及其 CT 影像特征	7
2.1 CT 简介	7
2.1.1 CT 的工作原理	7
2.1.2 CT 的分类	8
2.1.3 CT 图像与 CT 值	8
2.1.4 TOSHIBA Asteion 多层螺旋 CT	9
2.2 鼻咽部及其周围组织的解剖结构	10
2.3 鼻咽部及其周围组织的 CT 影像特征	11
2.3.1 正常鼻咽部组织 CT 影像	12
2.3.2 鼻咽癌 CT 影像	12
2.4 本章小结	12
第三章 基础数据及预处理	13
3.1 DICOM 简介	13
3.1.1 DICOM 格式的由来	13
3.1.2 DICOM 文件格式	13
3.1.3 DICOM 文件序列	14
3.2 利用 ITK 读取 DICOM 文件	15
3.2.1 ITK 简介	15
3.2.2 利用 ITK 读取图像文件	16
3.3 图像的预处理	17
3.4 图像的滤波技术	18
3.4.1 基于梯度信息的自适应平滑滤波	19
3.4.2 基于梯度信息的自适应平滑滤波的结果分析	19
3.5 本章小结	20
第四章 鼻咽部及其周围组织 CT 图像的分割	21

4.1 区域间清晰图像的分割	21
4.1.1 图像分割简介	21
4.1.2 常用的图像分割算法	22
4.1.3 鼻咽部组织图像分割结果比较	25
4.1.4 基于动态阈值的 Canny 边缘检测算法	27
4.2 区域间模糊图像的分割	29
4.3 鼻咽部组织解剖结构数据库	31
4.4 本章小结	32
第五章 鼻咽部及其周围组织的三维可视化	33
5.1 图像的三维重建简介	33
5.1.1 表面绘制法	33
5.1.2 体绘制法	34
5.1.3 鼻咽部组织的三维重建算法	35
5.2 VTK 开发工具包简介	39
5.3 鼻咽部及其周围组织图像序列的三维重建	40
5.3.1 鼻咽部组织的表面重建	42
5.3.2 鼻咽部组织的体重建	44
5.4 三维重建结果分析	46
5.5 本章小结	47
第六章 鼻咽癌虚拟手术计划系统	49
6.1 开发工具介绍	49
6.1.1 Open Inverntor 简介	49
6.1.2 Open Inventor 与其他三维技术的比较	51
6.2 系统介绍	52
6.2.1 系统结构框架	52
6.2.2 系统的主要功能	52
6.3 本章小结	54
总结与展望	55
参考文献	57
硕士期间所参与的科研课题与发表论文	59
致 谢	61

Contents

Chapter1 Exordium	1
1.1 Status and Signification of Project	1
1.2 Research Status	3
1.3 Innovations	4
1.4 Frame of This Thesis	6
Chapter2 Data Acquisition, Nasopharyngeal Tissue Anatomy and CT Imaging Features	7
2.1 Computer Tomography(CT).....	7
2.1.1 Principle	7
2.1.2 Classification.....	8
2.1.3 CT Image and CT Value.....	8
2.1.4 TOSHIBA Asteion Spiral CT.....	9
2.2 Nasopharyngeal Tissue Anatomy	10
2.3 CT Imaging Features.....	11
2.3.1 CT Imaging Features of Normal Tissue	12
2.3.2 CT Imaging Features of Nasopharyngeal Carcinoma.....	12
2.4 Summary of This Chapter	12
Chapter3 Fundamental Data and Pre-procission	13
3.1 DICOM.....	13
3.1.1 History.....	13
3.1.2 Format.....	13
3.1.3 File Series.....	14
3.2 Reading DICOM File Series.....	15
3.2.1 Introduction of ITK.....	15
3.2.2 Reading Image File using ITK.....	16
3.3 Pre-procission of CT Image	17
3.4 Filter Technology of CT Image.....	18
3.4.1 Gradient Information Based Adaptive Filter.....	19
3.4.2 Result Analysis.....	19
3.5 Summary of This Chapter	20
Chapter4 CT Image Segmentation of Nasopharyngeal Tissue	21

4.1 Image Segmenation of Clear Region.....	21
4.1.1 Introduction of Segmentation	21
4.1.2 General Method of Segmentation	22
4.1.3 Result Analysis of Image Segmenation	25
4.1.4 Dynamic Threshold Based Canny Edge Detection Algorithm	27
4.2 Image Segmenation of Fuzzy Region.....	29
4.3 Anatomy Database of Nasopharyngeal Tissue.....	31
4.4 Summary of This Chapter	32
Chapter5 3D Reconstruction of Nasopharyngeal Tissue Image ...	33
5.1 Introduction of 3D Reconstruction	33
5.1.1 Surface Rendering.....	33
5.1.2 Volume Rendering.....	34
5.1.3 3D Reconstruction Alogrithm of Nasopharyngeal Tissue Image	35
5.2 Visualization Toolkit.....	39
5.3 3D Reconstruction of Nasopharyngeal Tissue Image.....	40
5.3.1 Surface Rendering of Nasopharyngeal Tissue	42
5.3.2 Volume Rendering of Nasopharyngeal Tissue	44
5.4 Result Analysis of 3D Reconstruction.....	46
5.5 Summary of This Chapter	47
Chappter6 Virtual Surgery Planning System for Nasopharyngeal Carcinoma.....	49
6.1 Development Tools.....	49
6.1.1 Introduction of Open Inventor	49
6.1.2 Comparison with Open Inventor and Other 3D Technology	51
6.2 System Instruction.....	52
6.2.1 Architecture.....	52
6.2.2 Function	52
6.3 Summary of This Chapter	54
Conclusion and Prospect	55
Reference.....	57
Projects and Publications	59
Acknowledgements	61

第一章 绪 论

医学影像学是一门多学科交叉的边缘学科。它涵盖了医学、计算机技术、物理学、电子学等多个学科领域。医学影像学与计算机等技术紧密结合,使得医学步入崭新的可视化时代,人们可以利用科学可视化技术,将一系列二维图像重构出三维形体,并在计算机上显示出来,让医生真正看到了人体的内部,大大方便了医生对病人进行诊断和治疗。

1.1 课题的背景和意义

医学影像学的起源可以追溯到 1895 年德国物理学家伦琴发现 X 射线,为医学放射科学的形成提供了先决条件。其后的 100 多年间,医学影像技术得到了不断的发展。20 世纪 60 年代出现了影像增强技术,超声成像技术(USG);20 世纪 70 年代出现了 X 射线计算机断层扫描设备(CT, X-Ray Computer Tomography);20 世纪 80 年代出现了数字减影血管造影(DSA),核磁共振成像(MRI)等技术^[1]。从此传统的医学诊断方式发生了根本性的变化,人类可以无创地观察到自己体内任何位置的解剖结构。

20 世纪 80 年代以后,计算机技术与医学进一步紧密结合,辅助医生进行更好、更精确地诊断,使得医学步入崭新的时代。尽管计算机断层扫描及核磁共振成像已广泛应用于疾病的诊断,但是这些图像都还是二维的信息,需要有经验的医生根据多幅二维图像去顾及病灶的类型、形状和大小。医学可视化技术的引入,可以将这一系列二维图像重构出三维图像,并在计算机上显示出来,让医生真正直观地看到了人体的内部,大大方便了医生对病人进行诊断。

进入 21 世纪,以人类基因组计划的完成为标志,医学生物学正处于以信息化为主要特征的时期。从基因构成到蛋白质的三维结构,再到细胞、组织以及器官的形态与功能,对人体信息的完整描述已经提到科学研究日程上来了。利用信息技术实现人体从微观到宏观的结构和技能的数字化、可视化,最终达到人体的精确模拟,将对医学生物学及其人体相关学科的发展起到难以估计的影响^[2]。21 世纪被认为将是生物世纪,以人体科学为中心的科学技术将以前所未有的速度发

展。传统上医药学研究依赖于大量动物和人体实验的做法将在很大程度上由计算机模拟所取代。从这个方面来看，人体的数字化模型至关重要。

数字化虚拟人对于增进对人类自身的认识、促进医学的发展有重要的科学意义，它将人体结构和功能信息数字化与可视化，建立能够为计算机处理的数学模型，使得借助于计算机的定量分析计算和精确模拟成为可能。随着信息获取和处理技术的进步、数据采集精度的提高，将在越来越精确和广泛的程度上模拟人体的功能和行为。数字化虚拟人体模型具有广泛的应用前景：可为医学研究、教学与临床提供形象而真实的模型；为疾病诊断、新药和新的医疗技术的开发提供参考；促进形成新一代医疗高新技术产业，大大加速我国医学教育和临床的现代化。

在这个“虚拟人”研究的热潮中，虚拟器官的建模与仿真是当前国际上生物医学工程领域研究的前沿课题。通过建立各类虚拟器官，人们可以运用手术仿真和导航等技术实现复杂的医学解剖体数据的三维可视化，还可对可视化的数据进行实时操作，从而建立可供术前规划使用的虚拟环境。运用该技术可以使医务工作者沉浸于虚拟的场景内，体验并学习如何应付各种临床手术的实际情况，可以通过视、听、触觉感知并学习各种手术实际操作。这样大大的节约了培训医务人员的费用和时间，使非熟练人员实习手术的风险性大大降低，并利用专家学者的手术经验和实例对年轻医生特别是小医院、边远地区医院的医生进行培训，这对提高医学教育与训练的效率和质量以及改善医学手术水平有着非常重大的意义。另外，将来应用于临床手术中，医生可以看着屏幕做手术，精确地去除肿瘤，遇到重要区域还可以“绕道走”，大大降低了脑颅手术的创伤、时间和意外率。

特别地，对于像鼻咽这样具有复杂组织结构的器官，更需要建立一套虚拟手术计划系统来运用于教学和临床手术指导，以利于医生对鼻咽癌的治疗。

鼻咽癌好发于我国广东一带，因此又叫“广东癌”，是原发于鼻咽粘膜被覆上皮的恶性肿瘤。鼻咽癌早期一般没有明显症状，通常出现鼻塞、涕血或回缩性血涕、耳鸣及头痛等，晚期常有劲淋巴结肿大及脏器转移。鼻咽癌位于颅内较深的腔、隙、颈周围，解剖结构复杂，手术难度非常大。95%以上的鼻咽癌属鳞状细胞癌，且分化程度较差，放疗敏感，可起到“立竿见影”的近期效果^[3]。

我国是鼻咽癌的高发区，世界上 80%的鼻咽癌病例发生在我国南方各省^[4]。了解鼻咽部组织的结构和功能、保护鼻咽部组织健康对我们的工作、生活有着非

常重要的意义。建立鼻咽部组织及其内部管道的可视化模型并设计一套虚拟手术计划系统在分析鼻咽部的各种生理、病理参数，鼻咽癌手术前拟定治疗方案和评估预测效果等方面，都将有着重大的现实意义。

1.2 国内外研究现状

20 世纪 80 年代以来，人们在数字化虚拟人数据的获取和显示等方面取得了一系列阶段性的成果。1986 年，美国国家医学图书馆（National Library of Medicine）首次提出了可视人计划（Visible Human Project）^[5]，并于 2000 年 8 月获得了容量在 200GB 以上的超高分辨率数据集。这样庞大的数据集在人类医学史上是首创，它改变了医学可视化的模式，为虚拟世界进入现实医学敞开了大门。为了进一步完善和接近真正的人体实况，美国正在建造第二代有物理性能的虚拟人体和第三代有生理功能的虚拟人体。与此同时，世界范围从事相关研究的科学家越来越多。韩国于 2000 年启动了为期五年的可视韩国人计划，建立具有东方人种特征的 VKH 数据集^[6]。此外，德国、法国、英国和日本等国家的许多科学家也一直从事着虚拟人的相关研究。

2001 年 11 月第 174 次香山科学会议^[7]之后，中国数字化虚拟人研究被列入国家高技术研究发展计划“863”项目。中国成为继美国、韩国后第三个拥有本国虚拟人数据库的国家。“虚拟中国人”（Virtual Chinese Human, VCH），是将临床应用解剖学与计算机图像技术相结合，以标准中国人体切片标本为来源，在计算机上进行三维重建的数据集。该数据集将包含骨骼、肌肉、组织、器官以及血管等全部数字化的人体三维模型，可为医学以及多学科的研究与应用提供基础技术平台。中国首例女性虚拟人数据集于 2003 年 2 月 18 日在广州第一军医大学构建成功，已经提供国内有关研究单位应用。此外，第三军医大学的中国数字化可视人体项目（Chinese Visible Human, CVH）^[8]也完成了多套的数字化可视人体数据集的采集。

在“虚拟人”的研究中，虚拟器官的建模与仿真是当前国际上生物医学工程领域研究的前沿课题。虽然虚拟人数据的获取和显示等方面已经获得了阶段性的成果，但是相对于真正能体现功能的虚拟人的要求还相差较远。而在现实中，实现人体各项功能的单位是器官。因此，在虚拟人的相关研究领域中，各类虚拟器

官的研究是一个重点研究方向。不过，目前大部分的虚拟器官研究还停留在形态模型或物理模型研究的阶段。

国际上虚拟器官相关的研究开展得比较早，涉及的器官种类也比较多。其中比较著名的有德国马格德堡大学开发的虚拟肝脏形态模型^[9]，它综合考虑了肝脏形态模型和血管模型，可用于肝脏切除手术计划的制定；美国威克森林大学研究了基于虚拟结肠模型^[10]，可以实现模拟结肠内窥镜；澳大利亚西澳大利亚大学构造的虚拟腹部模型^[11]，模拟了整个腹腔壁及其内部各个重要脏器的形态、物理属性和他们之间的相互关系，主要目的是用于模拟汽车撞击实验条件下的腹部脏器受冲击效果；美国爱荷华大学提出了虚拟肺的计算解剖模型^[12]等等。

在国内虚拟器官研究领域中，浙江大学已故的吕维雪教授在虚拟心脏方面的研究是最著名的^[13,14,15]。从最初的心血管系统的形态建模，到主要研究物理特性的心肌力学模型，到着重对心脏功能进行模拟的电生理模型，直到虚拟心脏的应用研究等方面都做了大量的工作。清华大学白净教授长期致力于血液循环系统和呼吸系统以及它们之间的相互影响和作用的数字化建模和功能仿真，同时还运用有限元方法对心肌生物力学特性进行建模的研究^[16,17]。另外，在虚拟手术方面，国防科技大学熊岳山教授与解放军总医院合作，共同研发“虚拟膝关节镜外科手术仿真系统”，通过对计算模型、力反馈模型和碰撞检测等模型的一系列创新研究，开辟了我国骨科微创手术医疗训练的新途径^[18]。

目前国内外的虚拟头颅研究还多集中于基于虚拟人数据集的开发上，主要用于人脸整形与美容虚拟手术系统^[19,20]、牙颌面畸形患者的外科矫正虚拟手术^[21]、牙齿矫正术^[22]等。而且大多是在理论方面取得了阶段性进展，真正地运用于临床实践的还比较少。在虚拟鼻咽部组织及其内部管道方面，福建省肿瘤医院与我们实验室合作，利用病人实际 CT 数据建立一套鼻咽癌虚拟手术计划系统，应用于鼻咽癌的诊断和治疗中。

1.3 本课题的研究工作及创新之处

本课题作为福建省科技重点项目（项目编号：2004Y008）和卫生部联合基金项目（项目编号：WKJ2005-2-001）：鼻咽癌诊断和治疗中虚拟和仿真系统的研制与应用的一部分，合作单位是福建省肿瘤医院放射科。本课题主要负责通过

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