



博士后文库

中国博士后科学基金资助出版

从二维到三维

——医学影像分析及器官三维重建

冯 筠 崔 磊 贺小伟 著
孙 霞 康宝生



科学出版社

博士后文库

从二维到三维
——医学影像分析及器官三维重建

冯 筠 崔 磊 贺小伟 著
孙 霞 康宝生

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统地讲述了从二维到三维的医学影像预处理、医学器官的分割、配准、面绘制、体绘制以及可视化技术的基本概念、技术原理和最新的前沿技术,包括医学影像处理的基本流程、医学影像预处理和增强技术、医学器官的分割技术、从二维到三维的配准技术及医学影像三维重建和可视化的相关技术。本书在每一个相应的领域中都列举了具有参考价值的算法及其应用,其中也包含了作者多年来教学和科研的学术及实践成果。

本书既可作为计算机应用、生物医学工程及影像学专业高年级本科生或研究生的教材或参考书,也可从事医学影像分析和三维重建及相关工作的科技人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

从二维到三维:医学影像分析及器官三维重建/冯筠等著. —北京:科学出版社, 2016

ISBN 978-7-03-049438-2

I. ①从… II. ①冯… III. ①医学摄影 IV. ①R445

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第170780号

责任编辑: 阚 瑞 余 丁 / 责任校对: 蒋 萍

责任印制: 张 倩 / 封面设计: 迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年8月第一版 开本: 720×1 000 1/16

2016年8月第一次印刷 印张: 12 1/4 插页: 4

字数: 250 000

定价: 75.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《博士后文库》编委会名单

主 任 陈宜瑜

副主任 詹文龙 李 扬

秘书长 邱春雷

编 委(按姓氏汉语拼音排序)

付小兵 傅伯杰 郭坤宇 胡 滨 贾国柱 刘 伟

卢秉恒 毛大立 权良柱 任南琪 万国华 王光谦

吴硕贤 杨宝峰 印遇龙 喻树迅 张文栋 赵 路

赵晓哲 钟登华 周宪梁

《博士后文库》序言

博士后制度已有一百多年的历史。世界上普遍认为，博士后研究经历不仅是博士们在取得博士学位后找到理想工作前的过渡阶段，而且也被看成是未来科学家职业生涯中必要的准备阶段。中国的博士后制度虽然起步晚，但已形成独具特色和相对独立、完善的人才培养和使用机制，成为造就高水平人才的重要途径，它已经并将继续为推进中国的科技教育事业和经济发展发挥越来越重要的作用。

中国博士后制度实施之初，国家就设立了博士后科学基金，专门资助博士后研究人员开展创新探索。与其他基金主要资助“项目”不同，博士后科学基金的资助目标是“人”，也就是通过评价博士后研究人员的创新能力给予基金资助。博士后科学基金针对博士后研究人员处于科研创新“黄金时期”的成长特点，通过竞争申请、独立使用基金，使博士后研究人员树立科研自信心，塑造独立科研人格。经过30年的发展，截至2015年底，博士后科学基金资助总额约26.5亿元人民币，资助博士后研究人员5万3千余人，约占博士后招收人数的1/3。截至2014年底，在我国具有博士后经历的院士中，博士后科学基金资助获得者占72.5%。博士后科学基金已成为激发博士后研究人员成才的一颗“金种子”。

在博士后科学基金的资助下，博士后研究人员取得了众多前沿的科研成果。将这些科研成果出版成书，既是对博士后研究人员创新能力的肯定，也可以激发在站博士后研究人员开展创新研究的热情，同时也可以使博士后科研成果在更广范围内传播，更好地为社会所利用，进一步提高博士后科学基金的资助效益。

中国博士后科学基金会从2013年起实施博士后优秀学术专著出版资助工作。经专家评审，评选出博士后优秀学术著作，中国博士后科学基金会资助出版费用。专著由科学出版社出版，统一命名为《博士后文库》。

资助出版工作是中国博士后科学基金会“十二五”期间进行基金资助改革的一项重要举措，虽然刚刚起步，但是我们对它寄予厚望。希望通过这项工作，使博士后研究人员的创新成果能够更好地服务于国家创新驱动发展战略，服务于创新型国家的建设，也希望更多的博士后研究人员借助这颗“金种子”迅速成长为国家需要的创新型、复合型、战略型人才。

李尔奇

中国博士后科学基金会理事长

前 言

如今医学影像技术飞速发展，医学图像在临床诊断中的应用越来越重要。二维医学影像对医生的诊断虽然有着积极的作用，但是人体组织器官都是三维立体的，而且形态多样、结构复杂，使得二维医学影像的作用存在局限性。本书试图通过对二维到三维的医学影像分析及器官的三维重建，将复杂多变的三维器官结构直观地显示出来，目标是帮助医生进行更加全面而准确的分析，提高医疗诊断水平。因此，医学影像从二维到三维的分析及器官的三维重建技术具有非常重要的实用价值。

从2000年赴香港攻读博士学位开始，本书的主要作者从事医学影像处理及三维重建相关工作十几年，本书是其多年科研成果和技术的沉淀和积累，系统地讲述了从二维到三维的医学影像预处理、医学器官的分割、配准、面绘制、体绘制以及可视化技术的基本概念、技术原理和最新前沿技术。本书在每一个相应的领域中都列举了具有参考价值的算法及应用，其中也包含了作者多年来教学和科研的学术及实践成果。全书内容共分6章。

第1章，首先介绍医学影像的由来及其对现代医学的意义，然后描述医学影像的分类及医学影像处理的基本流程，最后举例说明一些常用的医学软件。

第2章，详细阐述医学影像预处理和增强技术及其对现代医学诊断的作用。

第3章，重点描述医学器官的分割技术，包括传统的分割技术和基于形变模型的医学影像器官的分割技术。

第4章，概述医学影像从二维到三维的配准技术，并且单独介绍基于互信息的多模态医学影像配准。

第5章，系统介绍医学影像三维重建技术，其中包含面绘制技术、体绘制技术以及基于多视图的三维重建技术。

第6章，介绍二维和三维医学影像可视化的相关技术。

本书的主要架构设计及撰稿统稿为冯筠，孙霞完成了第1章和第2章的部分内容；崔磊完成了第4~6章；贺小伟完成了第2章和第4章的部分内容；康宝生完成了第3章和全书校稿。西北大学智能信息处理实验室的王红玉、郭红波、李盼、赵翊凯、王宇慧、仝鑫龙等完成了实验部分的撰写，其中一部分内容也是他们的硕士论文研究内容，在这里对他们的辛勤付出表示感谢！本书在完成期间，陆续获得了

国家自然科学基金(编号: 61372046、11571012、61305032)和博士后基金(编号: 2012T50814)的特别资助, 以及陕西省科技计划项目(2015KW-002)的资助, 在此表示感谢。

本书所有的实例图像和源代码, 将在 www.nwu-ipmi.cn 上提供下载。由于作者水平有限, 不足之处敬请指出, 联系邮箱: fengjun@nwu.edu.cn。

作 者

2016年5月于西安

目 录

《博士后文库》序言

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 影像与医学影像的由来	1
1.2 医学影像处理及三维器官重建	2
1.3 医学影像的成像种类和基本原理	6
1.3.1 结构成像	7
1.3.2 功能成像	12
1.4 DICOM 格式和编码技术	17
1.4.1 DICOM3.0 标准	17
1.4.2 DICOM 图像文件格式解析	18
1.5 医学影像处理基本流程	20
1.6 常用医学影像软件介绍	21
1.6.1 Amira 的介绍及使用	22
1.6.2 Tecplot 的介绍及使用	27
1.6.3 3DMed 的介绍及使用	30
参考文献	37
第 2 章 医学影像预处理和增强技术	38
2.1 常见的医学影像预处理	38
2.1.1 医学影像的窗宽窗位	38
2.1.2 医学影像的几何运算	39
2.1.3 医学影像的频域变换	43
2.2 医学影像增强技术	50
2.2.1 医学影像的直方图增强	51
2.2.2 医学影像的空域滤波增强	55
2.2.3 医学影像的频域滤波增强	59
2.2.4 其他影像增强算法	63
参考文献	64

第 3 章 医学影像器官分割技术	66
3.1 医学影像器官分割技术概述	66
3.2 医学影像器官分割技术分类	67
3.2.1 基于阈值的器官分割技术	67
3.2.2 基于区域的器官分割技术	68
3.2.3 基于边缘的器官分割技术	70
3.2.4 基于区域和边缘混合的器官分割技术	71
3.2.5 分类与聚类分割技术	72
3.2.6 基于超像素的分割方法	74
3.3 基于形变模型的医学影像器官分割技术	76
3.3.1 参数形变模型	77
3.3.2 几何形变模型	81
3.3.3 两种模型分割人体肺部实验	84
3.3.4 基于统计模型的器官分割	86
参考文献	88
第 4 章 医学影像配准技术	91
4.1 医学影像配准技术概述	91
4.1.1 医学影像配准要素	91
4.1.2 医学影像配准流程	93
4.1.3 医学影像配准的评价方法	94
4.1.4 医学影像配准技术分类	95
4.2 基于灰度和特征的配准方法	96
4.2.1 基于灰度的影像配准	96
4.2.2 基于特征的影像配准	99
4.3 面向点云数据的医学影像配准	101
4.3.1 基于显著几何特征的三维医学器官的点云数据配准方法	101
4.3.2 基于分区统计可变模型的三维颅骨点云数据配准方法	109
4.4 基于互信息的多模态医学影像配准	119
4.4.1 熵的定义与性质	120
4.4.2 互信息的定义与性质	122
4.4.3 互信息用于多模态影像配准	123
参考文献	124
第 5 章 医学影像三维重建技术	127
5.1 基于表面绘制的三维重建技术	127

5.1.1	表面绘制原理及分类	127
5.1.2	移动立方体算法	129
5.2	基于体绘制的三维重建技术	133
5.2.1	体绘制原理及分类	133
5.2.2	体绘制中的光学模型	134
5.2.3	光线投射算法	135
5.3	医学影像序列三维重建技术	144
5.3.1	医学影像序列三维重建技术的分类	144
5.3.2	X射线影像序列三维重建技术	145
5.3.3	内窥镜影像序列三维重建技术	154
5.4	分子影像光源重建	159
5.4.1	基于辐射传输方程的重建技术	159
5.4.2	基于有限元分析的重建技术	161
5.4.3	其他重建技术	162
	参考文献	162
第6章	二维和三维医学影像可视化技术	165
6.1	医学影像的伪彩色处理	166
6.1.1	伪彩色图像处理原理	166
6.1.2	伪彩色图像处理增强的方法	166
6.2	器官表面模型渲染技术	168
6.2.1	颜色映射	168
6.2.2	纹理映射	170
6.3	器官表面特征建模技术	173
6.3.1	参数曲面纹理映射	173
6.3.2	中介曲面纹理映射	173
6.3.3	特征投影	176
6.3.4	映射(投影)模型归一化	178
6.3.5	器官可视化仿真实验	179
	参考文献	180
	结束语	182
	编后记	183
	彩图	

第 1 章 绪 论

医学影像学在医学诊断领域是一门新兴的学科，现代医学影像技术的应用与发展，印证了 100 多年来医学、生物、物理、电子工程、计算机和网络通信技术的诞生与沿革。数字医学影像新技术、新设备给医学影像诊断和基于数字图像的治疗带来许多根本的改变。目前，现代医学技术的提升和现代影像技术的发展相互融合、相互推动、相互依存的趋势已经成为共识。随着科学技术的进步，医学影像技术取得了长足的发展，而且在医疗领域中的地位将更为重要。本章主要介绍医学影像技术发展、成像种类及编码技术和医学影像处理的基本流程，总结近年来影像处理软件的基本功能，讨论关于医学影像处理技术的若干关键问题。

1.1 影像与医学影像的由来

1895 年 11 月 8 日，德国物理学家伦琴在用克鲁克斯管研究高度真空下的放电现象时，在玻璃外套有一层黑色纸板，以防光线外泄，但在黑暗中竟发现距仪器 2m 的一块用铂氰化钡溶液洗过的纸屏风能发出光。伦琴经过研究后，认定在仪器中发出了一种能透过不透光物质而又看不见的射线。当时因不明其性质，伦琴把它称为 X 射线。X 射线首先被应用到医学诊断上，第二年就提出应用于治疗的可能性。因此在 19 世纪末，它是医学诊断和治疗上的一项最伟大的发现。

起初，X 射线设备仅限于对人体骨骼进行透视和照相。碘化物和硫酸钡等造影剂的问世，可以使人体胃、支气管、血管和脑室等组织器官采用密度较高的造影剂进行充填以提高其对比度来进行 X 射线的特殊检查，成为 X 射线诊断技术的基础。经过几十年的不懈研究，X 射线诊断与治疗的应用范围大大增加。特别是 20 世纪 30 年代，旋转阳极 X 射线管的研制成功，使 X 射线摄影图像的清晰度有了明显提高，在某些活动器官的诊断和细微结构的放大摄影中显示出它的特点。相继出现的断层、光学摄影等各种辅助装置，成为医学基础研究和临床应用不可缺少的常规设备。但是，传统的 X 射线装备的成像技术是将三维人体结构显示在二维平面上，加上对软组织的诊断能力差，使得它成像系统的性能受到限制。

计算机断层扫描成像(computed tomography, CT)的问世是 X 射线被发现以来的重大突破，它标志着医学影像设备与计算机结合的里程碑。1972 年，自 Housfield 发明第一台 CT 机以来，CT 机共经历了五代。从 1992 年 CT 机的探测器由单排发展至 2 排，一次扫描产生多幅图像，既省时又减少伪影，到目前东芝的 320 层 CT 的

临床应用,使 CT 的图像从密度学、形态学迅速向功能学发展。核磁共振成像(magnetic resonance image, MRI)是断层成像的一种,它利用磁共振现象从人体中获得电磁信号,并重建出人体信息。MRI 与 X 射线和 CT 相比,具有无放射线损害、无骨性伪影、能多角度多参数成像、有高度的软组织空间分辨率、能进行分子结构的微观分析、不需使用对比剂即可显示血管结构等独特的优点。数字减影血管造影术是利用计算机系统将造影部位注射造影剂的透视影像转换成数字形式储存于记忆盘(称作蒙片)中,然后将注入造影剂后的造影区的透视也转换成数字,减去蒙片的数字,将剩余数字再转换成图像,除去了注射造影剂前透视图像上所见到的骨骼和软组织影像,剩下清晰的纯血管造影像。

1999 年,美国哈佛大学的 Weissleder 最早提出分子影(成)像学(molecular imaging, MI)的概念,应用影像学的方法对活体状态下的生物过程进行细胞和分子水平的定性和定量研究。它主要是以体内特定分子为成像对比度源,利用现有的一些医学影像技术对人体内部生理或病理过程在分子水平上进行无损伤的、实时的成像。它将遗传基因信息、生物化学与新的成像探针进行综合,由精密的成像技术来检测,再通过一系列的图像后处理技术,达到显示活体组织在分子和细胞水平上的生物学过程的目的。分子影像学成像技术具有显微分辨能力,其可视范围已扩展到细胞、分子水平,从而改变了传统医学影像学只能显示解剖学和病理学改变的形态显像能力。目前最常用的分子影像学技术有核医学成像技术。

单光子发射计算机断层成像术(single-photon emission computed tomography, SPECT)和正电子发射断层成像术(positron emission tomography, PET)是核医学的两种 CT 技术,由于它们都是对患者体内发射的 γ 射线成像,故统称发射型计算机断层成像术(emission computed tomography, ECT)。

近年来出现的正电子发射计算机断层显像(PET-CT)将 PET 与 CT 完美融为一体,由 PET 提供病灶详尽的功能与代谢等分子信息,而 CT 提供病灶的精确解剖定位,一次显像可获得全身各方位的断层图像,具有灵敏、准确、特异及定位精确等特点,可一目了然地了解全身状况,达到早期发现病灶和诊断疾病的目的。PET-CT 的出现是医学影像学的又一次革命,得到了医学界的认可和广泛关注,堪称“现代医学高科技之冠”。

1.2 医学影像处理及三维器官重建

随着 X 射线、CT、MRI、PET 等现代医学影像设备的先后出现,医生能够利用无创伤手段,从一系列断层图像以多视角、多方位的三维模式观察和诊断患者的病变区域,这使得传统的医学诊断方式发生了巨大的变化。医学影像及其三维重建的模型作为临床医生诊病治病的辅助工具,发挥着越来越重要的作用。虽然医生可以

通过观察医学影像来发现并诊断病情，但这种诊断方式有可能由于图像本身的对比度、分辨率等原因引起医生的误判、误诊，并且从一组二维图像构想出人体器官的三维结构有相当大的难度，在某些情况下甚至可能会引起误诊从而影响医疗进程。为提高医疗诊断和治疗规划的科学性及准确性，需将二维断层图像进行处理，将重要的部位突出显示，而将不需要的部位屏蔽或删除，以便于观察。必要时将系列二维图像转变成为具有直观立体效果的三维模型，展现人体器官的三维结构与形态，从而提供用传统手段无法获得的解剖结构信息，为进一步模拟操作提供视觉交互手段。

在医学影像中，最常见的是将导入系统的 MRI/CT 序列以三视图的形式进行呈现，分别为轴状位 (transverse/axisplane)、冠状位 (coronal/frontal plane) 和矢状位 (sagittal plane)。图 1.1 显示的是这 3 个方位对应的切面方位，以及在成像过程中对应的坐标系。

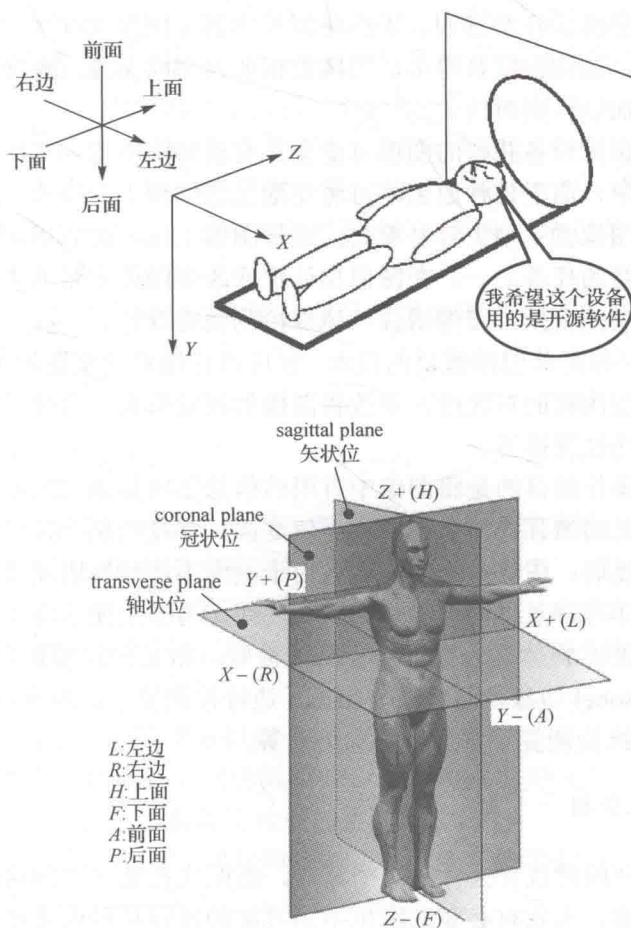


图 1.1 成像坐标系和三视图

医学影像三维器官重建涉及以下几个方面的关键技术。

1. 二维医学影像数据的预处理

医学影像数据的读取及显示是对图像进行其他处理的第一步。因此,需要分析常见的医学影像数据格式。医学数字成像和通信标准(digital image and communication in medicine, DICOM)是使用最为广泛的医学影像格式。常见的其他图像文件还有位图(bitmap file, BMP)、联合图像专家组(joint photographic experts group, JPEG)、标记图像文件格式(tag image file format, TIFF)等格式。多数医学影像文件结构主要包含文件头、文件体图像数据和文件尾等三部分。文件头一般包括图像格式标志、图像分辨率、图像宽高尺寸、图像色彩深度、彩色类型、编码方式、压缩算法等内容。文件体,即图像数据体图像数据、彩色变换表等内容。文件尾包括用户名、注释、开发日期、工作时间等内容。图像文件实际的结构因不同的图像格式而不同,结构也复杂得多,图像数据所占空间及排列顺序也可能不相同,在分析处理时需加以区别对待。

从各种医学影像设备获得的图像可能会具有模糊和不均匀等特点。在图像的生成或传送的过程中,由于种种原因不可避免地包含物理上的噪声。去除这些影响影像观察的因素,图像就变得更易观察,或使图像中包含的有用信息更易提取,是图像处理最重要的任务之一。在图像预处理或改善图像质量的方法中,具有代表性的方法一般有灰度变换、图像增强、边缘检测及提取等。

灰度变换:一种简单但很重要的技术,它可以让用户改变图像数据的灰度范围,主要的作用是改变图像的对比度,以改善图像的视觉效果。常见的灰度变换方法有灰度反色、灰度线性变换等。

图像增强:操作的目的是将图像中有用的信息更明显地突出显现,而衰减其他次要的信息。常见的增强操作有平滑、中值滤波、梯度锐化、拉普拉斯锐化等。

边缘检测及提取:图像中物体的边缘由于灰度不连续性所反映出来的特征。边缘广泛存在于物体与背景之间、物体与物体之间。为了更便于将图像中的各个物体分隔出来,有必要对物体的边缘进行检测并提取。常见的边缘检测方法有 Roberts 边缘检测算子、Sobel 边缘检测算子、Krisch 边缘检测算子、Prewitt 边缘检测算子、Gauss-Laplace 边缘检测算子、边缘轮廓提取等。

2. 医学影像分割

医学影像文件同时包含人体的多个器官,而医生在某一时间可能只对其中一个或几个器官感兴趣,为此有必要把医生不感兴趣的器官从图像文件中去除而把有用的器官完好保留下来。二维图像分割是整个医学影像三维模型重建系统的重要组成

部分,也是较难以全自动实现的部分,图像分割结果将直接影响到三维表面重建的效果。图像分割方法有阈值分割法、区域增长法、交互式分割法等。

3. 医学影像配准与融合

随着计算机技术的飞速发展,与计算机技术密切相关的医学成像技术也是日新月异。但是,各种成像技术和检查方法都有它的优势与不足,并非一种成像技术可以适用于人体所有器官的检查和疾病诊断,也不是一种成像技术能取代另一种成像技术,它们之间是相辅相成、相互补充的。例如,CT和X射线机对骨骼等密度较高的组织能提供高清晰的图像,MRI对人体软组织的成像具有较高的分辨率,而PET和SPECT则能够提供人体组织或器官的功能性代谢的图像。成像原理的不同造成了某一种成像模式所能提供的图像信息具有一定的局限性,有时单独使用某一类图像难以获得正确的诊断结论。因此,为了提高诊断的正确率,需要综合利用患者的各种图像信息。图像配准与融合技术为医学图像的综合利用提供了很好的技术手段。

医学影像配准是指对于一幅医学图像寻求一种(或一系列)空间变换,使它与另一幅医学图像上的对应点达到空间上的一致。这种一致是指人体上的同一解剖点在两张匹配图像上有相同的空间位置(位置一致、角度一致、大小一致)。配准的结果应使两幅图像上所有的解剖点,或至少是所有具有诊断意义的点及手术感兴趣的点都达到匹配。

医学影像融合是指将多源医学影像传感器所采集到的关于同一目标的影像经过一定的图像处理提取各自的有用信息,最后综合成同一图像以供观察或进一步处理。从信息论的角度讲,融合后的医学影像将比组成它的各个子影像具有更优越的性能。

4. 医学影像三维重建

医学影像三维重建是一种从二维到三维,平面到立体的过程。通常,二维医学影像的三维重建方法分为表面三维重建和三维体重重建两类。

表面三维重建是将多页二维的医学影像切片经预处理、分割后,构建出待建组织(用三角面片、多边形等几何图形)表示生成的表面,然后通过计算机图形学方法绘制并显示出来。

表面三维重建方法根据处理数据的不同有两种方法。

(1)在早期,由于影像切片之间的间距比切片内的像素间距大,所以出现了基于图像二维轮廓线拼接的方法,也称切片级的重建方法。

(2)随着新一代设备的出现,切片间距及切片内像素间距都可以达到很小,出现了基于等值面提取的方法,也称为体素级的重建方法。

体重建是对体数据场中的每个体素分别进行处理,进而合成具有三维效果的图像直接体可视化,即直接绘制体数据,不需用中间几何图形表示,可以省略图像分割

这一步骤，直接从原始体数据采样进行重建后显示出来。体绘制研究出现于 20 世纪 80 年代末，传统算法可以分为三个大类：图像空间(image space)的绘制算法、物体空间(object space)的绘制算法以及图像和物体空间混合(hybrid)的绘制算法。

5. 医学影像可视化

医学影像三维可视化系统综合运用图像处理技术和可视化技术，将获得的二维医学影像，如计算机断层扫描 CT 图像、核磁共振成像 MRI 图像，在三维空间上重建出立体的三维图像显示在计算机屏幕上。通过对图像进行各种操作，如旋转、缩放、移动、剖面显示等，便于医生从多角度、多层次进行观察和分析。医生通过观察能够更直观地看到人体组织内部复杂的解剖结构，确定患病部位的状态，从而更准确地诊断和治疗。目前已经有部分医学设备厂商开发了医学影像可视化系统，但是这些系统大多只能在特定的设备上使用，功能上也比较局限。

用于医学三维可视化开发的软件包有很多，软件包集成了数量众多的医学影像处理技术和可视化技术，并且对这些算法进行了很好的封装，便于调用。通过软件包可以更快地建立起综合的医学影像三维可视化系统。

由此可见，医学影像二维处理及三维重建与可视化技术是借助计算机图形学、图像处理、模式识别、医学、生物工程等学科而逐渐发展起来。随着现代计算机科学技术的发展，该技术越来越受到人们的重视，目前得到了大量的研究与广泛应用。

1.3 医学影像的成像种类和基本原理

随着科技的进步，医学成像技术有了长足的发展。医学成像是指医学影像数据的形成过程，也指形成医学成像(现代医学成像)的技术或装置。医学成像技术是借助于某种能量与生物体的相互作用，提取生物体内组织或器官的形态、结构以及某些生理功能的信息，为生物组织研究和临床诊断提供影像信息的一门科学。

图 1.2 显示了医学成像(影像)设备的共同特征：能量发射源、效应组织、探测器、处理器和显示器。



图 1.2 医学影像的成像过程

医学成像(影像)技术的类型包括：X 射线影像，核磁共振成像，核素显像(核医学成像技术)，超声成像，阻抗成像，热、微波成像，光学成像。其中前 4 种用途最

广泛，容易推广普及，称为四大医学成像技术。不同类型的医学影像具有优势互补的作用，如表 1.1 所示。

表 1.1 医学成像技术类型比较

医学图像分类	主要形式	描述内容
结构图像：描述人体的生理解剖结构	X 摄影、CT	组织密度分布
	超声成像 (ultrasound image, UI)	组织声阻抗的变化
	磁共振成像 (MRI)	磁共振核密度分布及弛豫特征
功能图像：描述人体在不同状态下组织器官的功能活动状况	核医学成像 (RI) (SPECT、PET)	组织器官生理代谢功能
	功能磁共振成像 (MRI)	人脑的功能活动
	多普勒成像 (Doppler flow image, DFI)	血液流量成像
其他类型成像	阻抗成像 (electrical impedance tomography, EIT)	体内阻抗或阻抗变化量
	热、微波成像	体表红外信号和体内微波辐射信号
	光学成像	利用光学及电视技术观察人体部分器官的形态

下面分别介绍不同的成像方法。

1.3.1 结构成像

1. X 射线影像

X 射线是一种波长极短、能量很大的电磁波。医学上应用的 X 射线波长为 $0.001\sim 0.1\text{nm}$ 。X 射线穿透物质的能力与射线光子的能量有关，X 射线的波长越短，光子的能量越大，穿透力越强。X 射线的穿透力也与物质密度有关，密度大的物质对 X 射线的吸收多，透过少；密度小则吸收少，透过多。利用差别吸收这种性质可以把密度不同的骨骼与肌肉、脂肪等软组织区分开来，这正是 X 射线透视和摄影的物理基础^[1]。

X 射线之所以能使人体组织在荧屏上或胶片上形成图像，一方面是基于 X 射线的穿透性、荧光效应和感光效应；另一方面是由于人体组织之间有密度和厚度的差别。当 X 射线透过人体不同组织结构时，被吸收的程度不同，所以到达荧屏或胶片上的 X 射线量即有差异。这样，在荧屏或 X 射线片上就形成明暗或黑白对比不同的图像。

X 射线成像的特点如下。

1) X 射线成像的基本条件

X 射线影像的形成，基于以下 3 个基本条件：首先，X 射线具有一定的穿透力，能穿透人体的组织结构；第二，由于被穿透的组织结构存在着密度和厚度的差异，X 射线在穿过程中被吸收的量不同，以致剩余的 X 射线量有差别；第三，这个有差别的剩余 X 射线，是不可见的，由于 X 射线的荧光效应和感光效应，经过显像过程，就能在荧光板或胶片上获得具有黑白对比、层次差异的 X 射线影像。