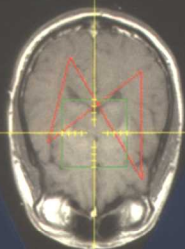


集成化医学影像算法平台

Source Image



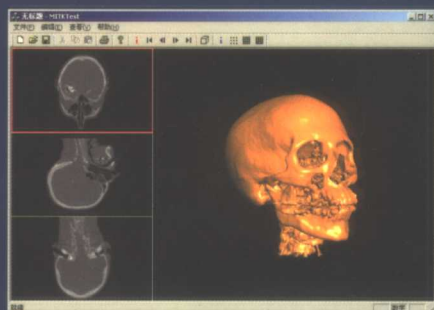
Slice Num

● 田 捷 赵明昌 何晖光◎编著

集成化医学影像算法平台

理论与实践

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF
MEDICAL IMAGING TOOLKIT



清华大学出版社

田 捷 赵明昌 何晖光◎编著

集成化医学影像算法平台

理论与实践

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF
MEDICAL IMAGING TOOLKIT

清华大学出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书包括两方面的内容:一是构建了一个具有统一风格、接口一致的医学影像处理的开放式统一的集成框架,该框架为科技工作者提供了一个开放的二次开发工具;二是在此框架的基础上,设计并开发了三维医学影像处理与分析系统(3DMed),该系统为普通用户提供了一个易于使用的软件工具。本书还将各种医学影像分割算法、配准算法、可视化算法以及 DICOM 标准在上述框架中予以集成。本书内容系统、全面,理论和实践结合非常紧密,除了算法的介绍外,还给出了大量翔实的实现代码,以便加深读者对算法的理解。

本书可供从事模式识别、计算机应用、医学影像处理、生物医学工程等领域的专业人员使用,也可作为高等学校相关专业教材。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用清华大学核研院专有核径迹膜防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

集成化医学影像算法平台理论与实践/田捷,赵明昌,何晖光编著. —北京:清华大学出版社,2004.10
ISBN 7-302-09544-2

I. 集… II. ①田…②赵…③何… III. 影像诊断 IV. R445

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 095674 号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

http://www.tup.com.cn 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

责任编辑:牛晓立

封面设计:吴 君 伍 化

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:三河市金元装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:20.75 插页:1 字数:471千字

版 次:2004年10月第1版 2004年10月第1次印刷

书 号:ISBN 7-302-09544-2/R·72

印 数:1~2500

定 价:58.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

前言

一百多年前 X 射线的发明,使医生能够利用无创手段看到病人的病变区域;而 30 多年前 CT (计算机断层成像)的发明,又可以使医生用无创手段从一系列断层图像以多视角多方位的三维方式观察病变区域。借助计算机图形学、图像处理、模式识别等学科而发展起来的医学影像技术是通过对影像数据的处理与分析,使医生看得更准确,其关键技术是分割、配准与可视化。近年来,一方面算法研究继续备受重视,新算法层出不穷;另一方面,算法平台的研究也被国际医学影像界重视,在近年的国际主流学术会议上设有专门的研讨会,在主流学术杂志设有相关的专刊,介绍算法平台的进展情况。在美国已有十多年的巨资投入医学影像平台研究的情况下,希望基于我们近十年医学影像的研究积累,进一步开展医学影像的集成平台研发。我们的工作一方面是在进行医学影像的整体框架的研发,另一方面是算法方面的研究。所有工作以免费软件的方式在 www.mitk.net 上发布,并设置专门论坛以维护开发平台的用户需求和技术咨询。限于我们的学识、人力与资金,我们是想抛砖引玉,希望大家都能加入到这一开放式平台的研究中来,共同营造中国的医学影像处理与分析开放式集成化平台。

本书的完成得益于国家自然科学基金、中国科学院创新基金的资助以及清华大学出版社的大力支持。本书的面世,将有助于感兴趣的读者加入到共同的目标中来。本书是在中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学重点实验室医学影像处理小组自 1996 年 6 月以来所积累的工作,是在多年来参与医学影像工作的各位已毕业的和在读的博士生、硕士生、博士后的前期工作基础上构建的,感谢吕科、薛健、朱珣、程章赫、李兴峰、李梧、李慧、赵骅、刘宁宁、胡志刚、诸葛婴、罗希平、王靖、曹勇、邱峰、刘景春、杨骅、李恩中、朱付平、葛行飞、李光明等在此过程中所做的工作。

本书的相关研究与系统研发工作得到了国家自然科学基金委的杰出青年基金——三维医学图像分析处理及自动指纹识别研究,国家重大基础研究前期专项项目——虚拟人的智能行为研究,以及多项国家自然科学基金和中国科学院创新基金的资助,在此深表感谢。

田 捷

2004 年 8 月于北京

1

绪 论 1

1.1 医学影像算法平台研究的背景及意义	1
1.2 医学影像算法平台研究的内容	2
1.2.1 整体框架的研究	2
1.2.2 医学影像算法的研究	2
1.3 医学影像算法平台的国内外研究现状	4
1.3.1 VTK 简介	4
1.3.2 ITK 简介	4
1.3.3 VTK 和 ITK 的局限性	5
1.4 本书的主要内容	6

2

MITK 的总体设计 9

2.1 MITK 的设计目标	9
2.1.1 统一的风格	9
2.1.2 有限目标	9
2.1.3 可移植性	10
2.1.4 代码优化	10
2.2 MITK 的整体计算框架	10
2.2.1 基于数据流模型的整体框架	10
2.2.2 数据模型	11
2.2.3 算法模型	12
2.3 MITK 的基础设施搭建	13
2.3.1 Object 提供的服务	13
2.3.2 内存管理	17
2.3.3 跨平台的实现	19
2.3.4 SSE 加速的实现	19
2.4 小结	20

3

面绘制的框架与实现 21

3.1 表面重建算法及其在 MITK 中的实现	21
-------------------------------	----

3.1.1	传统的 Marching Cubes 算法	22
3.1.2	基于分割的 Marching Cubes 方法	40
3.2	MITK 中的表面绘制框架	40
3.2.1	表面绘制框架的设计	40
3.2.2	表面绘制框架的实现	42
3.3	小结	61

4 体绘制的框架与实现 63

4.1	体绘制算法综述	63
4.2	MITK 中的体绘制算法框架	64
4.3	体绘制算法在 MITK 中的实现	67
4.3.1	View 中绘制操作的实现	67
4.3.2	VolumeModel 的实现	70
4.3.3	VolumeProperty 的实现	75
4.3.4	VolumeRenderer 的实现	79
4.3.5	Ray Casting 算法的实现	82
4.4	小结	108

5 三维人机交互的设计与实践 111

5.1	背景介绍	111
5.2	以 3D Widgets 为核心的三维人机交互的框架设计	112
5.2.1	3D Widgets 的设计准则	112
5.2.2	以 3D Widgets 为核心的三维交互框架总体结构	112
5.2.3	以 3D Widgets 为核心的三维交互框架设计	113
5.3	以 3D Widgets 为核心的三维人机交互的实现	114
5.3.1	Manipulator 的实现	114
5.3.2	实现具体的 WidgetModel	118
5.4	三维交互的应用实例	124
5.4.1	mitkLineWidgetModel 3D 的应用实例	124
5.4.2	mitkAngleWidgetModel 3D 的应用实例	125
5.4.3	mitkClippingPlaneWidget 的应用实例	125
5.5	小结	125

6 分割算法的设计与实践 127

6.1	MITK 中的分割算法框架	127
6.1.1	数据模块	128
6.1.2	数据获取模块	128
6.1.3	数据输出模块	129
6.1.4	数据处理模块	130

6.2	基于阈值的分割算法在 MITK 中的实现	131
6.2.1	原理概述	131
6.2.2	阈值分割算法开发包设计与实现	132
6.2.3	阈值分割结果示意图	132
6.3	区域增长算法在 MITK 中的实现	133
6.3.1	原理概述	133
6.3.2	区域生长算法开发包的设计与实现	133
6.3.3	区域生长分割结果	136
6.4	交互式分割在 MITK 中的实现	137
6.4.1	原理概述	137
6.4.2	交互式分割算法开发包的设计与实现	138
6.4.3	交互式分割算法的分割结果	140
6.5	Live Wire 算法在 MITK 中的实现	141
6.5.1	原理概述	141
6.5.2	Live Wire 算法包的设计与实现	144
6.5.3	Live Wire 分割结果	147
6.6	Fast Marching 算法在 MITK 中的实现	148
6.6.1	原理概述	148
6.6.2	Fast Marching 算法开发包的设计与实现	149
6.6.3	Fast Marching 分割结果	154
6.7	Level Set 算法在 MITK 中的实现	155
6.7.1	原理概述	155
6.7.2	Level Set 算法开发包的设计与实现	157
6.7.3	Level Set 分割结果	162
6.8	小结	163

7

配准算法的设计与实现 165

7.1	配准算法简介	165
7.2	MITK 中的配准算法框架	166
7.3	几何变换	169
7.3.1	刚性变换算法	170
7.3.2	线性变换与一对一变换	171
7.3.3	变换算法在 MITK 中的实现	171
7.4	图像插值	172
7.4.1	最近邻插值	173
7.4.2	线性插值	173
7.4.3	PV 插值	173

7.4.4 插值算法在 MITK 中的实现	174
7.5 相似性测度	175
7.5.1 灰度平均差测度	176
7.5.2 归一化相关系数	176
7.5.3 Pattern Intensity	176
7.5.4 互信息	176
7.5.5 相似性测度在 MITK 中的实现	177
7.6 函数优化	178
7.7 配准算法实现	180
7.8 应用实例	180
7.9 小结	181

8

DICOM 标准的实现 183

8.1 DICOM 标准简介	183
8.1.1 DICOM 标准的产生和演化	183
8.1.2 DICOM 标准的主要特点	185
8.1.3 DICOM 标准的总体结构和主要内容	186
8.2 MITK 中 DICOM 标准的实现	188
8.2.1 DICOM 数据编码方式和文件结构	189
8.2.2 DICOM 文件读写模块(DICOM Utility)的实现	197
8.2.3 DICOM Utility 在 MITK 中的封装	205
8.3 小结	209

9

应用 MITK 开发实际项目 211

9.1 开发环境的设置	211
9.2 一个简单的图像浏览器	217
9.3 用 MITK 进行表面重建	237
9.4 一个比较完善的例子	245
9.5 小结	265

10

扩充 MITK 功能 267

10.1 扩充 MITK 功能的预备知识	267
10.2 扩充 Reader 功能的实例之一	269
10.2.1 扩充 Reader 功能的一般步骤	269
10.2.2 实例程序的功能	270
10.2.3 实例程序的制作	270
10.3 扩充 Filter 功能的实例之二	275
10.3.1 扩充 Filter 功能的一般步骤	276

10.3.2	实例程序的功能	276
10.3.3	实例程序的制作	276
10.4	小结	286

11 基于 MITK 的三维医学影像处理与分析系统 3DMed 的设计与实现 287

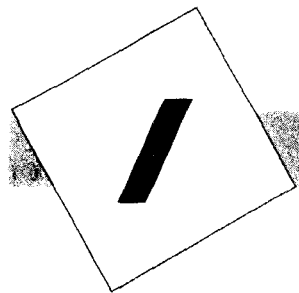
11.1	背景介绍	287
11.2	相关工作	287
11.2.1	3DVIEWNIX 系统简介	287
11.2.2	VolView 系统简介	288
11.3	3DMed 的整体设计	288
11.3.1	3DMed 的设计目标	288
11.3.2	3DMed 提供的功能简介	289
11.4	3DMed 的 Plugin 整体框架的实现	291
11.4.1	Plugin SDK 的实现	292
11.4.2	Plugins 的实现	292
11.4.3	3DMed Kernel 的实现	294
11.5	应用实例	295
11.6	小结	297

12 开发 3DMed 的 Plugin 299

12.1	总体介绍	299
12.2	使用 MITK 的 Plugin 实例	302
12.2.1	工程的建立及设置	302
12.2.2	实例制作	304
12.2.3	插入到 3DMed	307
12.3	不使用 MITK 的 Plugin 实例	308
12.3.1	工程的建立及设置	308
12.3.2	实例制作	309
12.3.3	插入到 3DMed	318
12.4	小结	319

附录一 医学影像数据 320

附录二 MITK 网站介绍 321



1.1 医学影像算法平台研究的背景及意义

自从德国科学家伦琴在 1895 年发明 X 射线以来,CT(计算机断层成像)、MRI(核磁共振成像)、CR(计算机 X 线成像)、B 超、电子内窥镜等现代医学影像设备先后出现,使得传统的医学诊断方式发生了根本性的变化。医学影像处理与分析是在计算机技术、物理学、医学等学科基础上发展起来的,它可以辅助医生进行更好、更准确的诊断。随着现代计算机科学技术的发展,医学影像处理与分析越来越多地受到人们的重视,现在已经成为一门新兴的发展迅速的交叉科学领域^[1]。

在 21 世纪,跟全社会人民的医疗保健和健康事业息息相关的医学影像处理与分析学科将得到快速发展。医学影像处理与分析是计算机信息学、物理学和医学等相结合的产物,在 20 世纪内经历了学科形成、发展和快速发展的过程。如果说 20 世纪是医学影像形成和快速发展的世纪,在 21 世纪就将是医学影像广泛应用的世纪。

目前随着改革开放和综合国力不断提高,我国从国外进口了越来越多的高精密的医疗设备并在临床上广泛应用。然而,由于国内缺乏配套的开发队伍,也没有形成开展跨学科开发研究的机制,一般使用的都是国外公司随机器附带的软件,使得我国对这些高精密医疗设备利用及研发的速度缓慢。目前以硬件设备为主的医疗器械都必须配套相应的计算机软件,而软件的成本和开支将逐步超过硬件。现阶段我国已经逐步具备了医疗器械的生产能力,但是高质量的配套软件仍然相当缺乏,因为软件的编制依赖于对科学问题的数学描述和计算方法。21 世纪的产业,医学影像的计算模型和计算方法将成为制约医学软件业的首要因素,抓住这一契机将成为我国医疗信息高质量稳定发展和参与国际竞争的重中之重,而积累发展具有我国自主知识产权的高质量的医学影像软件平台,尤其是底层的算法研发平台,对促进我国医疗仪器设备的应用,尤其是医学影像软件业的持续发展,并直接造福于人民的医疗保健和健康事业是非常重要的。

由于医学影像领域的研究涉及范围非常广,研究本身需要多学科的交叉,这就导致开发医学影像领域的高质量软件,尤其是算法研发平台非常困难。但是一旦研究成功之后,受益面将会非常大,发展前景非常广阔。利用现代信息学已取得的科学成果,对人体医学影像信息进行挖掘,建立相应的理论、方法并开发相应的软件开发平台,必将为人类对自身的认知、疾病的诊断和治疗、国民教育及商业软件的开发提供极好的机会,从而为医学影像信息学科在中国的发展奠定良好基础。毋庸置疑,医学影像将会影响到医院的每个科室,每个病人,以至全社会每个家庭成员,成为每个人健康状况记录的基本信息源之一。

在发达国家,尤其是美国,对开发高质量的医学影像软件和算法研发平台非常重视。美国国家卫生院下属的国立医学图书馆近年投入巨资支持三家科研机构(包括 University of North Carolina、University of Utah、University of Pennsylvania)开发医学影像分割与配准算法的研发平台 ITK(Insight Segmentation and Registration Toolkit)^[2],现在已经开发出初步的版本。在医学影像领域的主流国际会议 SPIE Medical Imaging 的 2004 年大会上有一个报告专题,称为 Visualization Toolkits,探讨医学影像领域内算法研发平台的研究;而在 Medical Image Computing & Computer Assisted Intervention(MICCAI) 2003 年会议上有一个专门的研讨会,称为 Software Development Issues for Medical Imaging Computing & Computer Assisted Interventions,也是探讨在未来医学影像领域内高质量软件,尤其是算法研发平台(Toolkits)的研究问题。

鉴于医学影像技术在本世纪的发展以及国内外相关研究人员对集成化的医学影像算法研发平台的需求,本书编著者希望通过 MITK 的研究与开发以及免费发行,能够推广医学影像软件在国内的广泛使用,为我国民族软件事业和医疗事业做出自己微薄的贡献。

1.2 医学影像算法平台研究的内容

对于一个实用的医学影像算法平台来说,有两大方面需要研究:一是整体框架的研究;二是医学影像算法方面的研究,它又包括医学影像分割、医学影像配准、三维可视化这三大研究领域。

1.2.1 整体框架的研究

医学影像处理与分析的目的是从数据到知识,其中在算法层面包含医学影像分割、医学影像配准(包括图像信息融合)、三维可视化(包括表面绘制、体绘制和数字几何处理)等;在数据表达层面,医学影像数据具有多源(CT、MRI、PET 等)、多维(二维、三维、四维及更高维)、多模态(形态、生理、心理、病理)、异构信息(像素矩阵表示的图像、像素集合表示的目标、符号表示的知识)等特点。如何对这么多的算法以及这么复杂的数据进行概括,得到统一的数据表达和高效处理方法,以便能够在统一的软件框架中高效、精确地来处理问题是一个难点。另外,目前研究人员在各个算法分支已经提出了多种算法,同时对于各种算法性能评价的研究也越来越受到重视,比如对分割算法准确性的评价已经成为一个非常前沿的问题。如果将这些算法置入一个统一的计算框架,组成一条管道式的流水线,在统一的数据表达、统一的算法框架以及统一的参数设置下,去研究各个算法的性能、前一算法对后续算法性能的影响等等,不仅能更好地从局部上去理解单个算法的性能指标、不同算法的性能差异,还有助于在整体上去理解和把握不同算法之间的影响、整体的“瓶颈”所在、不同信息的整合等。

1.2.2 医学影像算法的研究

目前医学影像算法方面的研究主要分为医学影像分割、医学影像配准、三维可视化这

三大研究领域,其中每一类下面又可根据一定的原则分为不同的子类,并且每一个子类都有很多不同的算法。

(1) 医学影像分割算法

医学影像分割的主要目的是将医学影像中感兴趣的物体(一般是病灶区)提取出来,以前医生往往是通过自己的经验手工分割病灶区,而分割的目的就是尽量自动、准确地将这些病灶区提取出来。图像分割是图像处理、图像分析和计算机视觉等领域最经典的研究课题之一,也是最大的难点之一,其理论和方法至今尚未获得圆满的结果。在医学领域,图像分割也一直是一个非常活跃的研究课题,吸引着很多的研究人员去探索这个问题。

医学影像分割可以大致分为以下几种类型:基于区域的分割方法,包括阈值分割^{[3][4]}、区域生长等^[5];基于边缘的分割方法,包括梯度算子、Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子、Laplacian 算子和 Kirsch 算子等^[1];基于形变模型的方法,包括主动轮廓(Active Contour)^[6]、水平集(Level Set)^[7]、快速移动(Fast Marching)^[8]等;基于人一机交互的方法,包括手工交互式分割、Live Wire 分割^[9]等。

(2) 医学影像配准算法

医学影像配准的主要目的是使两幅医学影像上的对应点达到空间上的一致,也就是找出两幅图像中对应于人体同一位置的点的对应关系,从而可以让医生把多幅不同模态的图像融合起来获得更多的信息。目前多模态医学影像的配准以及具有弹性形变的图像之间的配准都是非常热门的研究领域。

医学影像配准算法也有很多不同的类型,根据空间维数的数目和时间是否为附加维这两点可以分为 2D/2D、2D/3D、3D/3D 图像配准;根据配准所依据的特征可分为基于外部特征和基于内部特征两大类;根据变换的性质可分为刚性变换、仿射变换、投影变换和曲线变换 4 种;根据用户交互性的多少,可分为交互的、半自动的和自动的 3 种;根据配准的医学图像模态可以分为单模图像之间的配准、多模图像之间的配准、患者和模态之间的配准这 3 种;根据配准过程中变换参数确定的方式可以分为两种,一种是通过直接计算公式来得到,另一种是通过在参数空间中寻求某个函数的最优解来得到^[10]。

(3) 三维可视化算法

三维可视化的主要目的是将医学影像设备得到的一系列的二维切片,使用计算机图形学的技术,构造出一个器官的三维模型,并且非常逼真地显示给医生,它是科学可视化研究的一个重要分支。目前随着医疗设备的进展,医学影像数据集越来越大,极大的数据量给传统的三维重建与绘制技术带来了非常大的挑战,所以目前大数据量的三维医学影像的快速重建和绘制技术也是一个非常具挑战性的问题。

三维可视化可以分为 3 个大类:表面绘制(Surface Rendering)、体绘制(Volume Rendering)和数字几何处理(Digital Geometry Processing)。表面绘制包括经典的 Marching Cubes 算法^{[11][12]}、Cuberille^[13]算法等;体绘制包括经典的 Ray Casting^[14]算法、Splatting^[15]算法、Shear Warp^[16]算法以及新近出现的基于图形硬件 GPU 的加速算法^{[17][18]}等;而数字几何处理^{[19][20]}是在 SigGraph 2001 上才提出的一个新概念,用于对表面绘制产生的网格进行处理,包括网格化简、网格细分、网格平滑等算法。

1.3 医学影像算法平台的国内外研究现状

如前所述,医学影像处理算法的3个主要研究领域目前都已经有了非常多的成熟的算法,并且新的算法还在不断出现。除了在算法研究方面努力外,一些研究组织为了更好地利用现有的算法,避免重复的劳动,开发了许多算法平台,这些算法平台不仅封装了他们自己的算法,还封装了很多已经成熟的相关算法。这些算法平台极大地便利了医学影像领域的研究者,他们可以在这些平台上来创建自己的实验环境,验证自己的算法,而不用从头再写一些已经成熟的算法。可以作个比喻,这些平台的作用就相当于 Matlab 对于研究人员的作用一样,不过它们是专门针对医学影像领域的。目前在医学影像研究人员中使用最广泛的两个算法平台是 VTK(Visualization ToolKit)和 ITK(Insight Segmentation and Registration ToolKit),虽然还有其他一些平台,但是它们都不系统,只是针对某一个特定领域的。另外,VTK 和 ITK 也是对 MITK 的设计影响最大、最相关的两个算法平台,所以下面分别介绍它们的发展历程和发展现状,并给出它们的局限性。

1.3.1 VTK 简介

VTK(Visualization ToolKit)^[21]是一套进行数据可视化的开发工具包,最早在 1993 年 12 月由美国 GE 公司研发部门的 Will Schroeder 和 Ken Martin 首次发布,当时是作为《The Visualization ToolKit: An Object-Oriented Approach to 3D Graphics》这本书的配套软件赠送,后来在 1998 年时,此书出版第二版,并且在此 5 年期间使用 VTK 的人数不断增加,形成了一个社区,VTK 也以开放源码(Open Source)的形式开发。现在这本书已经出到第三版^[22],同时 VTK 也由美国 Kitware 公司负责维护,全世界的开发人员都可以贡献自己的力量。

VTK 完全采用面向对象的设计思想来设计与开发^[23],提供了非常强大的功能,提供了超过 300 个 C++ 类,并且可以支持跨平台开发,支持 Windows、Unix、Linux 等多种平台^[24]。值得一提的是,VTK 并不是专门针对医学影像领域开发的平台,它的主要目标是通用可视化领域,但是它仍然在医学影像领域得到了比较广泛的应用,这一方面与其几个主力研发人员在 GE 公司的背景分不开(他们是表面绘制经典算法 Marching Cubes 算法的发明人),另外是因为 VTK 里面提供了表面绘制、体绘制、一部分数字几何处理算法,这些都对医学影像领域内的研究有所帮助。到现在,VTK 的稳定版本已经发行到 4.2 版本,并且新的 5.0 版本也在持续地开发中。VTK 已经成为通用可视化领域内最负盛名的软件开发包,在医学影像领域内赢得了信誉。

1.3.2 ITK 简介

ITK(Insight Segmentation and Registration ToolKit)^[2]的主要目的是提供一个医学影像分割与配准的算法平台,它的起源是基于美国的可视人体项目^[25],当可视人体的数据采集完成以后,对这些数据进行配准并分割就形成了迫切的需求,因此在 1999 年,由美

国 NIH(国家卫生院)下属的 NLM(国立医学图书馆)发起了一个投标活动,要出资资助开发一个分割与配准的算法研发平台,作为可视人体项目的一个工具,对可视人体项目得到的数据进行处理与分析。最终选中 6 家单位合作开发,包括 University of North Carolina、University of Utah、University of Pennsylvania 3 个大学以及 Kitware、GE、Insightful 3 个商业公司。从 1999 年 10 月到 2002 年 10 月,已经完成了第一个三年计划,并成功发行了 ITK 1.0。

与 VTK 相同的是,ITK 的框架设计也是由 Kitware 公司来完成的;但是与 VTK 显著不同的是,它们的设计风格截然不同。ITK 大量使用了 1998 年以后 ANSI C++ 标准里面的新特性,尤其是 Template(模板),并且 ITK 整个就是基于范型编程(Generic Programming)^[26] 这种设计思想来设计与实现的。ITK 也可以支持跨平台开发,支持 Windows、Unix、Linux 等多种平台,目前也是采用开放源码的形式发行,最大限度地推广它。经过 4 年多的开发,目前 ITK 的稳定版本已经发行到 1.6,提供了几乎所有主流的医学影像分割与配准算法^[27],并且现在还一直在持续地进化,它已经并且将继续为医学影像领域内的研究人员提供一个分割与配准算法的仓库和基础。

1.3.3 VTK 和 ITK 的局限性

VTK 和 ITK 目前已经成为国际上非常知名的可视化、医学影像分割与配准的算法研发平台,并且正在为研究人员提供着非常多的便利。但是由于一些原因,使 VTK、ITK 或者 VTK+ITK 有一些自己的缺陷,影响了其在更大范围的广泛使用。

首先,因为 ITK 并不提供可视化的能力,所以一般要与 VTK 联合起来使用才能构成一个比较完整的医学影像的处理与分析系统。首先使用 ITK 进行影像的配准、分割,然后再使用 VTK 进行三维可视化,观看结果,这样就极大地增加了复杂度。尤其是 VTK 和 ITK 所使用的编程风格完全不同,VTK 开发的比较早,在 1998 年 ANSI C++ 标准制定之前就已经比较成型,所以使用的是传统的面向对象(Object-Oriented)的设计和开发方法;而 ITK 是在 1999 年才开始开发的,所以运用了许多新的 C++ 语言的特性以及范型编程的设计和开发方法。这种编程风格上的不一致,导致了同时使用 VTK 和 ITK 时,必须学习两套规模都相当庞大的开发平台,给使用者造成了一定的学习难度。

其次,VTK 是一个面向通用可视化领域的一个开发平台,并不是专门针对医学领域的。VTK 的规模相当庞大,里面的算法也很多,一方面使它的适用面非常宽,有很多领域的研究人员都可以使用它;另外一方面也使其复杂度大大增加,因为同时要照顾到各个领域。在设计 VTK 的时候,主要目标是一个通用的、灵活的框架,并没有对某一个特定的算法进行优化,因此 VTK 的速度并不是太令人满意。

最后,ITK 是专门针对医学影像的分割和配准而实现的一个开发平台,因为历史性的原因,ITK 并没有重新实现可视化的功能,而是利用 VTK 的可视化的功能。对 ITK 来说,设计的时候利用了非常多的现代 C++ 语言的新特性,并且大量使用了模板,这本来是一件非常好的事情,但是因为 C++ 的新标准刚颁布没有几年,导致现在有很多编译器不能完全编译 ITK;并且因为 ITK 里面大量依赖于 STL(Standard Template Library,标准模板库)和模板,导致最终只能编译成一个静态的函数库,而不能实现动态的加载;最重要的一点是,有很多医学影像领域的研究人员对 C++ 的新标准以及模板编程技术了解的

不是很深入,使他们在使用 ITK 时感觉就像在学习一门新的编程语言。由于上面的这些原因,现在 ITK 还只是在一个比较小的范围内使用。

1.4 本书的主要内容

考虑到上面这些因素,本书介绍的主要是我们实验室研发的集成化的医学影像处理与分析算法研发平台——MITK(Medical Imaging ToolKit)。其目的很简单,所谓集成化,就是指在一个统一的框架里面来实现医学影像分割、配准、三维可视化等算法,从而弥补 VTK+ITK 的缺憾。MITK 并不是要取代 VTK 和 ITK,而只是给医学影像领域内的研究人员和开发人员提供另外一个选择,用来丰富国际上的医学影像算法平台。另外,为了验证使用 MITK 开发复杂医学影像实用系统的能力,我们还基于 MITK 设计并实现了三维医学影像处理与分析系统 3DMed。Kitware 公司也曾经使用 VTK 开发了一个医学影像可视化系统 VolView,但可惜的是这是一个商业软件,即使用于科研目的也是需要购买许可证的。MITK 和 3DMed 均作为免费软件(Freeware)在 Internet 上发布(www.mitk.net 和 www.3dmed.net)。编写本书的另外一个意义就是希望能够推广医学影像软件在国内的广泛应用。

本书介绍的内容主要集中在两个方面:一是算法研究方面,在表面绘制的算法尤其是大规模医学数据的可视化算法的研究方面作了一些探讨,这个部分主要在第 3 章中介绍;二是平台的框架设计以及分割、配准、可视化算法在 MITK 中的实现方面,这个部分内容分散在本书的各个章节。

具体来讲,本书的主要内容包括:

一是研究并设计实现了一个集成化的医学影像处理与分析算法平台——MITK。MITK 在一个统一的框架里面实现了医学影像处理与分析的三大研究领域的算法,包括医学影像分割、医学影像配准以及三维可视化。另外,MITK 是专门针对医学影像这一特定领域的,遵循“小而精”的原则,对一些重要算法作了特定的优化,支持新的 CPU 指令集 SSE 的优化以及新的显卡中的 GPU(Graphics Processing Unit,图形处理器)的利用。为了最大限度地使 MITK 得到应用,将其在 Internet 上向国际免费发行,相关科研人员可以免费下载并在自己的科研工作中进行二次开发。

二是基于 MITK 设计并开发了三维医学影像处理与分析系统 3DMed。一方面证明了 MITK 可以胜任现实世界当中医学影像领域复杂软件系统对算法平台的需求,另一方面为相关科研人员和普通用户提供一个易于使用的软件工具。目前 3DMed 也作为免费软件发行,如果 MITK 和 3DMed 能够推广医学影像软件在国内的应用,那么也就达到了本书编著者的初衷。

本书以 MITK 的研究与设计为主线贯穿始终,在软件设计框图的绘制上,始终遵循 UML(统一建模语言)^[28] 的规范。内容安排如下:第 2 章介绍 MITK 的总体框架的设计;第 3 章侧重介绍在面绘制算法研究方面的工作,包括基于单层表面跟踪的重建算法和基于点的重建算法,并且给出了面绘制算法在 MITK 中的实现;第 4 章介绍 MITK 中的一个重要部分,即体绘制的框架设计及具体的算法实现;第 5 章给出了在三维人机交互方

面的一些探索,并给出了其在 MITK 中的框架和实现;第 6、第 7 章分别给出了不同的分割算法和配准算法在 MITK 中的实现;第 8 章介绍了 DICOM 标准以及其在 MITK 中的实现;第 9、第 10 章分别介绍应用 MITK 开发项目和 MITK 的扩展功能,以便读者可以方便地使用 MITK;第 11 章介绍基于 MITK 算法平台的三维医学影像处理与分析实用软件系统 3DMed 的设计与实现;第 12 章介绍了 3DMed 中的插件技术(Plugin),这样读者也可以将自己的算法用 Plugin 开发出来,集成到 3DMed 中。附录一介绍一些医学影像数据集的资源,方便读者用来测试自己的算法,附录二介绍了 MITK 论坛的情况。

参考文献

- 1 田捷,包尚联,周明全. 医学影像处理与分析. 北京:电子工业出版社,2003
- 2 Insight segmentation and registration Toolkit, <http://www.itk.org>
- 3 Zhang Y J, Gerbrands J J. Transition region determination based thresholding. Pattern Recognition Letter, 1991, 12:13-23
- 4 Sahoo P, Wilkins C, Yeager J. Threshold selection using Renyi's entropy. Pattern Recognition, 1997, 30(1):71-84
- 5 Manousakas I N, Undrill P E, Cameron G G, et al. Split-and-merge segmentation of magnetic resonance medical images: performance evaluation and extension to three dimensions. Computers and Biomedical Research, 1998, 31:393-412
- 6 Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes-Active Contour Models. International Journal of Computer Vision, 1987, 1(4): 321-331
- 7 Osher S, Sethian J. Fronts propagating with curvature dependent speed. J Comput Phys, 1988, 79:12-49
- 8 Sethian J A. Fast marching methods. SIAM Rev., 1999, 41: 199-235
- 9 Falcao A X, Udupa J K, Samarasekera S, et al. User-steered image segmentation paradigms: Live Wire and Live Lane. Graphic models and image processing, 1998, 60:233-260
- 10 Maintz J B A., Viergever M A. A survey of medical image registration. Medical Image Analysis, 1998, 2(1):1-36
- 11 Lorensen W, Cline H. Marching cubes: a high resolution 3D surface construction algorithm. ACM Computer Graphics, 1987, 21(4): 163-170
- 12 Nielson G M. On Marching Cubes. IEEE Transaction on visualization and computer graphics, 2003, 9(3): 283-297
- 13 Herman G T, Liu H K. Three-Dimensional display of human organs from computed tomography. Computer Graphics & Image Processing, 1979, 9: 1-29
- 14 Levoy M. Display of surfaces from volume data. IEEE Transaction on computer graphics and applications, 1988, 8(3): 29-37
- 15 Laur D, Hanrahan P. Hierarchical Splatting: A progressive refinement algorithm for volume rendering. ACM Computer Graphics. 1991, 25(4):285-288
- 16 Lacroute P, Levoy M. Fast volume rendering using a shear-warp factorization of the viewing transformation, 1994, 451-458
- 17 Engel K, Kraus M, Ertl T. High-quality pre-integrated volume rendering using hardware accelerated pixel shading. In: Eurographics/SIGGRAPH Workshop on Graphics Hardware, 2001

- 18 Resk-Salama C, Engel K, Bauer M, et al. Interactive volume rendering on standard PC Graphics Hardware using multi-textures and multi-Stage-Rasterization. In Proc: Eurographics/SIG-GRAPH Workshop on Graphics Hardware, 2000
- 19 Wim Sweldens, Peter Schröder. Digital Geometry Processing, Course Notes for SigGraph. Los Angeles, California. Aug. 12, 2001
- 20 何晖光. 数字几何的研究及其在医学可视化中的应用[博士论文]. 北京: 中国科学院自动化研究所, 2002
- 21 Visualization Toolkit, <http://www.vtk.org>
- 22 Will Schroeder, Ken Martin, Bill Lorensen Schroeder. The Visualization Toolkit: An Object Oriented Approach to 3D Graphics 3rd Edition. Kitware, Inc. Publisher, 2003
- 23 Schroeder W J, Martin K M, Lorensen W E. The design and implementation of an object-oriented Toolkit for 3D Graphics and Visualization. Proc. Of IEEE Visualization'96
- 24 Schroeder W J, Avila L S, William H. Visualizing with VTK: A Tutorial. IEEE transaction on computer graphics and applications, 2000, 20(5): 20-27
- 25 Ackerman M J. The visible human project. Medicine Meets Virtual Reality II: Interactive Technology and Healthcare, 5-7
- 26 Austern M H. Generic programming and the Stl: Using and extending the C++ standard template library. Addison-Wesley Professional Computing Series, 1998
- 27 Luis Ibanez, Will Schroeder, Lydia Ng, et al. The ITK Software Guide: The insight segmentation and registration toolkit (version 1.4), Kitware. Inc. Publisher, 2003
- 28 Fowler M, Scott K. UML Distilled Second Edition: A brief guide to the standard object modeling language. Addison Wesley, 2000