

医学图像处理与分析软件平台综述 *

李恩中⁺

LI Enzhong⁺

国家自然科学基金委员会 生命科学部 北京 100085

Department of Life Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China

+ Corresponding author: E-mail: liez@mail.nsf.gov.cn

LI Enzhong. Review of medical image processing and analyzing software platforms. Journal of Frontiers of Computer Science and Technology, 2008 2(5) 467-477.

Abstract: The technology of medical image processing and analyzing can provide more clear and accurate images and more useful quantitative information for the doctor to assist the diagnosis and treatment. The development of algorithms such as segmentation, registration and 3D visualization is the motivation of medical image processing and analyzing, while the software platforms based on these algorithms are the accelerators of medical image processing and analyzing. Many software platforms have been designed for scientific research or providing wieldy assistant tool for certain users. This paper introduces some mainstream platforms, and discusses the advantages and shortcomings of these platforms adequately. Our aim is to spread the applications of medical image processing and analyzing software platform, and motivate the researchers to contribute to the development of the software platforms.

Key words: segmentation; registration; visualization; software platform

摘要: 医学图像处理与分析技术可以给医生提供更清晰、更准确的信息, 以利于疾病的诊断和鉴别诊断。医学图像分割、医学图像配准以及三维可视化等算法是医学图像处理与分析发展的源动力, 而基于这些算法研发的软件平台是医学图像处理与分析前进的加速器。现有的医学图像处理与分析软件平台极大地便利了医学影像领域的研究者与应用者, 大大加快了医学影像发展的步伐。对国内外医学图像处理与分析的软件平台进行了比较系统的归纳, 详细地介绍了各类主流软件平台, 并充分地讨论了各种平台的优缺点, 旨在推广医学图像处理与分析软件平台在国内的应用, 并激发国内医学影像领域的研究者为医学图像处理与分析软件平台贡献自己的力量。

关键词: 分割; 配准; 可视化; 软件平台

文献标识码: A **中图分类号:** TP393

1 引言

自 X 射线应用于医疗诊断以来,UI(超声成像)、CT(计算机断层成像)、MRI(核磁共振成像)、CR(计算机 X 线成像)、电子内窥镜、PET(正电子发射断层成像)和 MI(分子影像)等医学影像设备不断涌现,使得传统的医学诊断方式发生了革命性的变化。利用计算机对医学影像设备采集到的图像进行后处理的技术被称之为医学图像处理与分析技术。随着现代计算机科学技术的发展,医学图像处理与分析越来越多地受到人们的重视,并已被广泛用于临床,辅助医生进行清晰、准确的诊断及鉴别诊断^[1]。

对于医学图像处理与分析,算法是其发展的源动力。医学图像处理与分析算法方面的研究主要包括医学图像分割^[2]、医学图像配准^[3]以及三维可视化^[4],目前已经有了非常多的成熟的算法,并且新的算法还在不断涌现。除了在算法理论上的研究以外,在算法支撑基础上的软件平台研发也是必不可少的,因为软件平台是医学图像处理与分析前进的加速器。近年来国内外的一些医学图像研究组为了更好地利用现有的医学图像处理与分析算法,避免重复劳动,设计开发了许多医学图像处理与分析的软件平台。这些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,极大地便利了医学影像领域的研究者与应用者,使得他们可以在这些平台上实现自己的算法,利用这些平台来开发自己的应用系统,或直接应用这些平台完成自己的研究工作,而不用从头再实现一些已经成熟的算法或其他辅助性质的算法,从而大大缩短了研究成果和实际应用之间的距离。

在国际上,人们对研发高质量的医学图像处理与分析软件平台非常重视。Medical Image Computing & Computer Assisted Intervention(MICCAI)2003 会议开设了专门的 Workshop^[5],探讨医学影像领域的软件平台设计问题。Medical Image Analysis 杂志在 2004 年专门出了一个 Special Issue,主题是 Segmentation and Registration using ITK^[6]。在医学影像领域的主流国际会议 SPIE Medical Imaging 的 2004 年会上开设了专门的 Session,称为 Visualization Toolkits。在 SPIE Medical Imaging 的 2006、2007 年会上开设了专门的 Course,

称为 Medical Image Analysis with ITK and Related Open-Source Software,探讨充分利用现有软件平台来实现对医学图像的处理与分析。目前,医学图像处理与分析软件平台的设计与实现已经成为医学影像领域的一个研究热点。

2 软件平台的研究现状

2.1 医学图像处理与分析软件平台的分类

现有的国内外医学图像处理与分析软件平台可以概括地分为两种类型:一种是封装了各种医学图像处理与分析算法的算法平台(通常也称之为算法工具包 Algorithm Toolkit),为医学影像软件的开发提供了丰富的算法库;另一种是封装了各种医学图像处理与分析功能,并且具有友好用户界面的应用平台(通常也称之为应用系统 Application System),为科学研究和临床诊断等提供了功能强大的计算机辅助工具。

ITK(Insight Segmentation and Registration Toolkit)^[7-8]和 VTK(Visualization Toolkit)^[9-10]是目前在医学影像研究人员中使用最广泛的两个算法平台,而其他的一些算法平台如 3DVIEWNIX^[11]、Analyze^[12],也被广泛应用。为了加快新的医学影像算法平台和应用平台的研发速度,很多研究者都直接基于 VTK 和 ITK 等算法平台来完成新平台的底层实现,如德国肿瘤研究中心 GCRC(German Cancer Research Center)开发的医学影像交互平台 Medical Imaging Interaction Toolkit^[13]和 Kitware 公司开发的 VolView^[14]。另外还有一些主流的被广泛应用的软件如 VG Studio^[15-16]、AVS/Express^[17]等等。下面具体介绍各类主流的软件平台。

2.2 国外的医学图像处理与分析算法平台

2.2.1 可视化算法平台 VTK

VTK 是一个主要进行数据可视化的开放源码(Open Source)的算法平台,目前由美国 Kitware 公司负责维护。VTK 最早在 1993 年 12 月由美国 GE 公司研发部门的 Schroeder 和 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。现在这本书已经发行到了第 4 版^[18],而且使用 VTK 的人数也在不断增加,已经形成了一个全球性的社区,

VTK 用户与开发者可以通过邮件列表(Mail List)来进行相互讨论与交流。

VTK 完全采用面向对象的设计思想来设计与开发^[19]。VTK 具有非常强大的功能,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^[20]。VTK 并不是专门针对医学影像领域开发的算法平台,它的主要目标是通用可视化领域,但是它在医学影像领域得到了相当广泛的应用,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),另外一个方面是因为 VTK 里面提供了表面绘制^[21-23]、体绘制^[24-28]、一部分数字几何处理算法^[29-30],这些都对医学影像领域内的研究有很大帮助。全世界的数以千计的研究人员和开发人员都在用它进行 3D 计算机图形图像处理与可视化。VTK 在三维函数库 OpenGL^[31-32]的基础上采用面向对象的设计方法,将可视化实现细节屏蔽起来,并封装了一些常用的算法,并以类的形式给予支持。它是从事可视化应用程序开发的研究人员的强大的技术工具,以方便性和灵活性为主要原则,主要具有以下一些特点:

(1)具有强大的三维图形功能。VTK 既支持基于体素的体绘制又保留了传统的面绘制,从而在改善可视化效果的同时又可充分利用现有的图形库和图形硬件;

(2)VTK 的体系结构使得其具有非常好的流和高速缓存的能力;

(3)能够更好地支持基于网络的工具如 Java 和 VRML;

(4)具有丰富的数据类型,支持对多种数据类型进行处理;

(5)VTK 的代码具有设备无关性使得其代码具有良好的可移植性。

到现在为止,VTK 的稳定版本已经发行到了 5.0,并且在不断地完善。VTK 已经成为通用可视化领域内最著名的算法平台,也在医学影像领域发挥着非常重要的作用。

2.2.2 分割与配准算法平台 ITK

ITK 的主要目的是提供一个医学影像分割与配准的算法平台,它起源于美国的可视人体项目^[33]。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)发起开发一个分割与配准的算法平台,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。最终由 University of North Carolina、University of Utah、University of Pennsylvania、Kitware、GE 以及 Insightful 合作开发,并于 2002 年 10 月成功发行了 ITK 1.0。ITK 用户与开发者同样可以通过邮件列表(Mail List)来进行相互讨论与交流。

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 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)^[34]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 Open Source 的形式发行,最大限度地推广它。经过多年的开发,目前 ITK 的稳定版本已经发行到了 3.6,提供了几乎所有主流的医学图像分割与配准算法,并且现在还一直在持续地发展,它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的算法平台。

2.2.3 医学影像交互平台 Medical Imaging Interaction Toolkit

医学影像交互平台 Medical Imaging Interaction Toolkit 首次亮相于 SPIE Medical Imaging 的 2004 年会上^[35-36],是由德国肿瘤研究中心 GCRC 基于 VTK 和 ITK 开发的,封装了 VTK 中的可视化算法和 ITK 中的分割与配准算法,并在此基础上加入了很多交互的算法,使交互、数据处理和显示有机地结合在一起,从而构成了一个方便用户使用的交互式医学图像处理与分析的算法平台。Medical Imaging Interaction Toolkit 算法平台的设计继承了 VTK 和 ITK 的风格,并使用了 CMake^[37]、doxygen^[38]和 cvs^[39]来处理软件。作为 ITK 和 VTK 的补充,Medical Imaging Interaction Toolkit 同样采用了 Open Source 的形式发行,经过几年的开发,目前 Medical Imaging Interaction Toolkit 的稳定版本已经发行到了 0.8,并在持续的发展中,极大地便

利于医学图像处理与分析算法平台在临床中的应用与推广。

2.3 国外的医学图像处理与分析应用平台

2.3.1 3DVIEWNIX 系统

3DVIEWNIX 系统^[40]是由美国宾州大学放射系医学图像处理小组开发的,提供了医学图像预处理、二维和三维可视化、图像分析等功能,它是使用 C 语言在 Unix 下开发的,利用 X-Window 提供用户界面。3DVIEWNIX 系统的特色之处就是提供了很多图像分割工具,包括域值分割、基于模糊连接度的分割、Livewire 分割等等,这些工具简化了用户对图像分割的工作量,非常有价值。由于 3DVIEWNIX 开发的比较早,在 20 世纪 80 年代就已经推出,所以是国际上相当知名的一个系统。但是该应用平台并不是一个免费软件,甚至对科研目的和教学目的也不免费提供,另外加上其只能在 Unix 环境下运行,用户界面比较复杂,所以应用范围受到限制。它现在公开发行的最新版本是 2004 年发布的 1.5,更新比较缓慢。

2.3.2 Analyze 系统

Analyze^[12]是由美国非常著名的 Mayo 医学中心(Mayo Clinic)的生物医学影像实验室 BIR(Biomedical Imaging Resource)历经 25 年研发的可视化与分析系统,提供对 CT、MR 和 PET 等多种模态的生物医学图像进行多维显示、数据处理、分割、配准以及测量等功能。Analyze 最初是基于 Unix 开发的,不过为了满足更多用户的需求,BIR 于 1996 年对 Analyze 进行了重新设计以支持其他操作系统。目前 Analyze 完全基于软件开发包 AVW 来实现各种功能,并采用 Tcl/Tk 来设计用户界面。Analyze 现在可以支持 4 种 UNIX 系统,4 种 Windows 系统,3 种 Linux 系统和 2 种 Mac 系统,同时各种功能的计算性能也比原来强大的多。可惜的是 Analyze 系统是一个商业软件,目前的最新发布版本是 8.1,由 AnalyzeDirect 公司负责公开发行,不过用户可以申请免费试用。

2.3.3 VolView 系统

VolView 系统^[41]是由美国 Kitware 公司开发的,其主要目的是提供一个易于使用的、交互式的可视化工

具。VolView 虽然是一个商业软件,但 Kitware 公司负责开发并维护着两个非常著名的开放源码的医学影像处理开发包 VTK 和 ITK,其科研背景非常浓厚。VolView 也是基于 VTK 和 ITK 开发出来的,并且提供免费的试用下载。VolView 早期的优势在于体绘制(Volume Rendering),其提供了非常好的界面来辅助用户完成复杂的调节参数的过程。在其 2.0 版本之前,VolView 并不提供分割功能,其面绘制(Surface Rendering)功能也是通过脚本语言来支持的,不是非常完善。但是在其推出的 2.0 版本以后,基于 ITK 这一强大的分割与配准算法平台,提供了比较多的分割功能,也提供了一些等值面生成(Isosurface Generation)的算法来支持面绘制。VolView 系统现在主要是针对 Windows 操作系统提供,在 Linux 系统下也有提供,不过版本比较低。

2.3.4 VGStudio MAX 系统

VGStudio MAX^[15]系统是由德国 VG 公司开发的 CT 三维可视化与测量的商业化软件,也是业内具有领导地位的 voxel 数据可视化与分析系统,带来了处理大量 voxel 数据的概念。它主要应用于试样内部瑕疵分析、试样内部厚度分析、试样分解、试样内部几何形状测量、试样内外部逆向工程设计等等。VGStudio MAX 将 CT 拍摄得到的计算机层析图片进行三维重建可视化,并为工程师提供各种强有力的工具。系统支持的文件格式包括 TIFF、JPEG、BMP、PPM、HDF data、Analyze data、DICOM and RAW data。在三维重建模型内的一般应用有对原有实物的立体可视化与精确的建立试样三维模型,对三维模型任意方向的裁剪旋转及缩放,可任意定义平面及体积并对其进行属性分析,等等。相对于其他软件,它具有以下的一些优势:高精度、海量数据处理的功能,CT 与 MRI 图像融合功能,多物体一场景功能,优化的 STL 抽取能力,多种图像过滤能力,以及特有的三维影片制作能力与任意视角观察能力。

2.3.5 3D Doctor 系统

3D Doctor^[41-42]是美国 Able Software 公司开发的一个商业化医用三维图形建模系统,适用于 MRI、

CT、X 光透视成像、显微镜成像、科学计算和工业用 3D 图像处理程序。系统自推出后得到了广泛使用并获得很高的评价。它提供了三维图像分割、三维表面渲染、体积渲染、三维图像处理、反卷积、图像配准、自动队列、测量以及其它很多功能。系统支持的文件有常用的二维和三维图像格式,如 DICOM、TIFF、BMP、JPEG、Interfile、PNG、Raw Image Data 等,能够根据 2D 的横截面图像实时渲染成 3D 模型,并可将模型输出为 STL、DXF、IGES、3DS、OBJ、XYZ 等格式文件供其他程序进行定量分析。

2.3.6 MIMICS 系统

MIMICS^[43]是比利时的 Materialise 公司的交互式医学影像控制系统,即为 Materialise's interactive medical image control system,它是模块化结果的软件。它支持多种格式的数据(CT、MRI)转化为 3D 模型进行编辑,然后输出通用的 CAD(计算机辅助设计)、FEA(有限元分析)、RP(快速成型)格式,可以在 PC 机上进行大规模数据的转换处理。除了在医学上的应用之外,MIMICS 还可应用到其他方面,比如考古学、生物学等。与工业 CT 结合,还可以做到逆向工程、无损探伤等方面的应用。

2.3.7 3D Slicer 系统

3D Slicer^[44-45]项目是由波士顿布里格姆妇女医院手术计划实验室和麻省理工学院的人工智能实验室在 1998 年联合发起的,其目的是开发一个易于使用的可视化和分析的软件,于 2007 年成功推出了 Slicer 的具有完整体系结构的版本,最新版本是 2008 年五月发布的 3D Slicer 3.2,开发期间受到 NCRR、NCI、NIBIB 以及 NIH 的多个部门(NA-MIC、NAC、BIRN、CIMIT、NCIGT)的资助,下载量已达数千次。3D Slicer 是一个免费且开放源码的可视化和图像分析的软件,其基于 VTK、ITK、KWWidgets、Teem 等开源软件,并且被设计成支持多操作系统,如 Windows、Linux、Mac OS X。其结构采用 Plug-in 机制,包含了医学图像的分割、配准、可视化,方便进行扩展。现主要针对于神经科学、图像引导治疗等医学领域,其中还有许多部分需要完善。

2.3.8 AVS/Express

AVS(Advanced Visual Systems Inc.)^[17]成立于 1991 年,在数据可视化领域,AVS 被普遍认为是世界领导者。该公司的 AVS/Express 高级可视化系统^[46]是世界领先的多维可视化开发平台,其最新版本是 AVS/Express 5.1 版。AVS/Express 是一个可在各种操作系统下开发可视化应用程序的平台,使用它可以快速建立具有交互式可视化和图形功能的科学和商业应用程序。开发者可以使用其面向对象的可视化编程环境,在一个开放和可扩展的环境下快速建立应用程序原型,处理海量数据。AVS/Express 提供了有关图形、图像、数据可视化、数据库接口、注释和硬拷贝输出等方面的许多先进技术。AVS/Express 具有大量预制的可视化编程对象,以提供一个功能强大的可视化开发环境。开发者除了可以使用诸如 2D 和 3D 图形观察器之类的高级对象之外,还可对这些高级对象进行重新定制。其优点是:大大缩短了编程的时间,提高了工作效率;对海量数据的处理功能强大,使得海量数据变得形象、直观;AVS/Express 是目前市场上功能最强的可视化开发工具。其缺点是内存占用量大。

除了上述几种系统外,当然还有一些其它的相关应用系统,也可以用于医学图像处理与分析,并且都有很广泛的影响,在此就不再一一列举。

2.4 国内的医学图像处理与分析平台

2.4.1 国外现有平台的不足

虽然 VTK、ITK、Medical Imaging Interaction Toolkit、3DVIEWNIX、Analyze 和 VolView 等已经成为国际上非常知名的医学图像处理与分析平台,已经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,影响了这些平台在更大范围的广泛使用^[47]。

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影像领域的。VTK 的规模相当庞大,里面的算法也很多,这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,但另外一方面也使得它的复杂度大大增加。同时因为要照顾到各个领域,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。

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。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 Object-Oriented(面向对象)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 Generic Programming(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,对使用者造成了一定的学习难度。

VTK 和 ITK 均未在底层算法框架和数据结构上提供对 Out-of-Core 数据^[48-53]的支持。以 VTK 为例,虽然它所提供的某些算法已经具备处理 Out-of-Core 数据的能力(由具体算法的特点所决定),但是这种支持只是停留在个别具体算法上,并不具有普遍性和通用性,而 ITK 由于还是专门针对图像处理类算法的开发包,在框架结构上并没有特别提供对 Out-of-Core 数据的支持,虽然通过对其相关模板类进行一定程度的扩展可以实现海量数据支持,但是这种框架结构上的扩展对普通算法研究者或使用者来说存在很大困难。

Medical Imaging Interaction Toolkit 和 VolView 都是基于 VTK 和 ITK 设计和实现的,由于 VTK 和 ITK 的缺陷以及这两个平台对 VTK 和 ITK 的依赖,使得 Medical Imaging Interaction Toolkit 和 VolView 的发展受到了极大的束缚。3DVIEWS、Analyze、VGStudio MAX、MIMICS 和 AVS/Express 等软件的功能都非常强大,但由于其都是商业软件,而且相对于大多数研究者和应用者来说价格还是比较昂贵,不利于在医学影像领域的普遍应用。

2.4.2 国内研发的平台

针对国际上现有平台的缺陷,国内一些单位提出了自己的解决方案。如复旦大学、大连理工大学以及

山东大学等均在该领域进行了相应的研究。由复旦大学医学影像组与上海第九人民医院开发的三维医学影像软件(MedVol)^[54],可以调整二维 CT 或 MRI 图像的对比度、显示任意角度的二维图像,使用连续的二维切片重建三维图像,使用了三种重建算法:体绘制法、等值面法、立体切片法,同时提供了从横断面、冠状面和矢状面方向显示 CT 切片。由大连理工大学 CAD&CG 研究所研发的“基于 CT&MRI 的医学图像三维重构可视化系统”^[55]是集三维重建及可视化等功能于一体的软件系统,采用并行处理模式的数据管线技术,经过医学图像序列的预处理,实现超大数据医学图像的三维可视化。主要包括以下模块:(1)二维系统功能模块,图像显示和图像处理、测量和标注,图像的几何变换、滤波处理等;(2)三维数据处理模块,通过分割可将原始数据分成物体、背景、骨骼、软组织等多种类型,并将感兴趣的区域提取出来;(3)切片重组模块,系统通过切片重组这个功能,只要取得一个方向的一组切片,就可以由这一组切片数据重新获得其他方向的切片数据,进而从新的角度对被检测部位进行观察;(4)三维重建及可视化模块,从原始数据重建得到三维图像,以三维立体的方式再现原始图像,克服了传统平面阅片的缺点,而且可以对三维图像进行任意角度旋转、任意方向的平移以及剖切、手术开窗等操作,从而得到更加丰富的诊断信息。由山东大学开发的医学图像处理软件系统^[56],主要功能包括:常用的文件操作:包括打开图像、硬件获取图像、打印图像、关闭图像、保存图像、退出系统;另外还包括版权说明、必要的帮助信息等;基本处理功能:包括水平镜像、垂直镜像、90°旋转、窗口状态定义及运算、直方图信息和基本属性信息;灰度工具:包括线性变换、阈值变换、窗口变换、灰度拉伸、灰度均衡、灰度反转、灰度转换、伪彩色转换等;形态学变换:包括多种形式的添加噪声、及多种邻域平均法去除噪声等;图像分析:包括傅立叶变换、空间滤波、边缘提取等;扩展插件系统:系统提供了外部接口,可以较好地支持高级用户进行二次开发,经实验效果良好。同时自带一个小型的插件管理系统,将所有注册的插件集成到系统菜单

中 ,集成化的特殊应用程序包 :包括共聚焦显微镜的图像处理等。

2.4.3 国内的 MITK & 3DMed 平台

下面主要以中国科学院自动化研究所的医学图像处理组^[57]所提出的有关医学图像处理与分析软件平台的解决方案^[58-59]为例 ,阐述国内在该领域的研究状况。如图 1 所示 ,该医学图像处理与分析软件平台包括算法和应用两个层面。

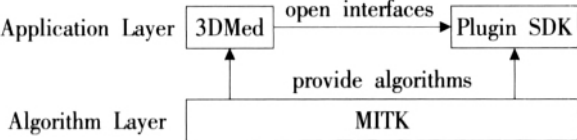


Fig.1 Overall framework of the platform

图 1 平台的整体框架

算法层是一个集成化的医学影像处理与分析算法研发平台——MITK(Medical Imaging ToolKit)^[60-61] , MITK 在一个统一的框架里面实现了医学影像分割、配准、三维可视化等算法。对于软件设计 ,尤其是特定领域内的复杂软件设计 ,必须事先有一个非常明确的设计目标。MITK 从一开始设计 ,就始终追求风格统一、目标集中、方便移植和代码优化等几个高层的设计目标。

VTK 和 ITK 由于历史性的原因 ,使用了不同的编程风格。这种编程风格上的不一致 ,给 VTK+ITK 的使用者带来了很大的不方便。而 MITK 使用统一的面向对象的设计方法 ,再加上一些 Design Patterns(设计模式)^[62]的使用 ,提供了一个统一的编程风格和整体框架。MITK 是专门面向医学影像领域的 ,只关注于这一特定领域内的算法 ,不追求大而全 ,只追求少而精。例如 MITK 中可视化算法只包括规则数据场(医学影像设备得到的数据场即为此类)的支持 ,分割算法的输出也只限于是一个二值数据场。这样的设计准则简化了整个 MITK ,使得其保持在一个中等的规模 ,但具有同等的功能 ,包括主流的可视化^[21 24-26 28]、分割^[63-69]和配准算法^[70-73]的实现。为了使 MITK 能够得到最广泛的应用 ,可移植性是非常重要的一个环节。整个 MITK 的代码全部使用 ANSI C++编写 ,没有使用任何编译器提供的特殊关键字或者特殊函数 ,并且

尽量降低平台相关的代码量。在整个 MITK 中 ,与平台相关的部分就是与窗口系统打交道的部分 ,此处针对不同的操作系统写了不同的代码 ,目前支持 Windows 和 Linux 操作系统。而 MITK 目前可以在多数主流的 C++编译器下编译通过 ,包括对模板支持不完善的编译器。因为医学影像处理与分析算法中很多算法计算量大 ,尤其是可视化算法 ,对实时性要求很高 ,这些就需要对代码进行优化。因为 MITK 的规模保持在中等 ,这就使得对一些关键算法进行优化成为可能。MITK 支持对 CPU 的扩展指令集的使用 ,比如 Intel 的 MMX、SSE 指令集^[74] ,为了不至于违背可移植性目标 ,MITK 中在使用 SSE 等指令集时 ,并没有直接使用汇编语言 ,而是使用了编译器提供的 Intrinsics 指令 ,目前 MITK 当中实现了 SSE 加速的矩阵和矢量运算、双线性和三线插值计算等 ;另外 MITK 还支持对目前主流显卡中 GPU 的编程 ,实现了使用纹理映射进行 Volume Rendering(体绘制)的加速算法。

此外 ,MITK 的计算框架采用基于数据流的模型 ,并且在底层算法框架和数据结构上提供对 Out-of-Core 数据的支持^[75-76] ,如图 2 所示。上述设计目标和结构特性使 MITK 弥补了 VTK+ITK 的缺憾 ,成为医学影像领域的一个出色的算法平台。

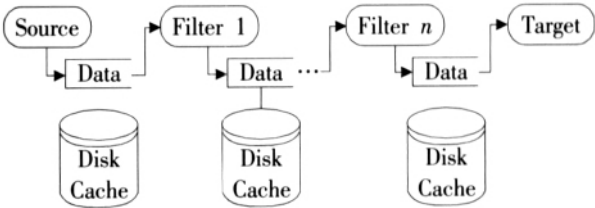


Fig.2 Out-of-Core supported data flow model

图 2 支持 Out-of-Core 的数据流模型

应用层由一个三维医学影像处理与分析平台 3DMed(Three-Dimensional Medical Image Processing and Analyzing System)^[77-80]和一个 Plugin SDK 组成 ,是一个专门面向用户的应用系统。3DMed 的核心功能来自 MITK 中的算法 ,从而将应用层和算法层分离 ,提高了整个平台的研发效率。另外 3DMed 的内核提供了对 Plugin 的支持 ,研究者可以通过 Plugin SDK 来设计新功能 ,从而能方便地扩展 3DMed 平台。3DMed 以及 Plugin SDK 为整个平台提供了一个灵

活和可扩展的应用框架。

MITK 和 3DMed 均作为免费软件在 <http://www.mitk.net/download> 上发布。目前 MITK 和 3DMed 的最新版本分别达到了 MITK2.0 和 3DMed2.1, 总下载量已经超过了一万人次, 除了用于教学和科研, MITK 和 3DMed 在实际工程中也得到了很好的应用, 不过 MITK&3DMed 封装的算法和功能还需要不断增加。MITK&3DMed 现在仍然在继续完善和发展, 用来丰富国际上的医学图像处理与分析平台, 给医学影像领域的研究人员和开发人员提供另外一个优秀的选择, 为中国的医学影像事业作出重大的贡献。

3 总结与展望

医学图像处理与分析是在医学、物理学、计算机科学等学科基础上发展起来的一门科学, 它可以辅助医生进行研究、诊断和治疗。尤其是在 21 世纪的医学影像学更强调个体化医疗, 利用医学图像处理与分析软件平台, 可以获得更清晰、更准确的结果, 更利于临床医生对疾病的诊断和鉴别诊断。在最近十几年里, 医学影像领域涌现出了许多医学图像处理与分析软件平台, 虽然现有的医学图像处理与分析软件平台还不能做到尽善尽美, 但已经为医学影像事业乃至全人类的健康事业作出了非常巨大的贡献。

随着现代计算机软硬件技术的飞速发展, 医学影像领域的分割、配准、三维可视化等医学图像处理与分析算法越来越多, 计算机的性能也越来越高, 丰富的算法和强大的计算机计算能力对医学图像处理与分析软件平台提出了更高的要求, 也为软件平台的设计与实现带来了更多的机遇和更大的挑战。国内在医学图像处理与分析软件平台方面的研发工作起步比较晚, 但已经取得了突出的成绩, 希望有越来越多的研究者能加入到医学图像处理与分析平台的研发中, 以促进中国医学影像事业的发展。

References :

- [1] Tian J, Bao S L, Zhou M Q. Medical image process and analysis[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003.
- [2] Pham D L, Xu C, Prince J L. A survey of current methods in medical image segmentation[J]. Annual Review of Biomedical Engineering, 2000 2(8): 315-337.
- [3] Zitová B, Flusser J. Image registration methods: A survey[J]. Image and Vision Computing, 2003 21(11): 977-1000.
- [4] Kaufman A E. Volume visualization[J]. ACM Computing Surveys(CSUR), 1996 28(1): 165-167.
- [5] Ellis R E, Peters T M. Medical image computing and computer-assisted intervention-MICCAI 2003[C]. Montréal, Canada, November 2003.
- [6] Yoo T S, Metaxas D N. Open science-combining open data and open source software: Medical image analysis with the Insight Toolkit[J]. Medical Image Analysis, 2005 9(6): 503-506.
- [7] Ibanez L, Schroeder W, Ng L, et al. The ITK software guide[M]. [S.l.]: Kitware Inc, 2005.
- [8] Kitware Inc. Insight Segmentation and Registration Toolkit[EB/OL]. <http://www.itk.org>.
- [9] Schroeder W. The VTK user's guide[M]. Clifton Park, NY: Kitware Inc, 2001.
- [10] Kitware Inc. Visualization Toolkit[EB/OL]. <http://www.vtk.org>.
- [11] Udupa J K, Odhner D, Samarasekera S, et al. 3DVIEW-NIX: An open, transportable, multidimensional, multi-modality, multiparametric imaging software system[C]//SPIE Proc, 1994 2164: 58-73.
- [12] Analyze Direct. Analyze[EB/OL]. <http://www.analyzeirect.com/Analyze/>.
- [13] Wolf I, Vetter M, Wegner I, et al. The medical imaging interaction toolkit[J]. Medical Image Analysis, 2005 9(6): 594-604.
- [14] Kitware Inc. Volview[EB/OL]. <http://www.kitware.com/products/volview.html>.
- [15] Volume Graphics. VGStudio MAX[EB/OL]. <http://www.volumegraphics.com/products/vgstudiomax/>.
- [16] VG Studio Max 1.2 User's Manual. Volume Graphics, 2004.
- [17] AVS(Advanced Visual System). AVS/Express[EB/OL]. <http://www.avs.com/>.
- [18] Schroeder W, Martin K, Lorensen B. The visualization toolkit: an object-oriented approach to 3D graphics[M]. 4th ed. [S.l.]: Kitware Inc, 2006.

- [19] Schroeder W J , Martin K M , Lorensen W E. The design and implementation of an object-oriented toolkit for 3D graphics and visualization[C]//IEEE Visualization , 1996 , 96 93-100.
- [20] Schroeder W J , Avila L S , Hoffman W. Visualizing with VTK : A tutorial[M]. [S.l.] : Kitware Inc , 2000.
- [21] Lorensen W E , Cline H E. Marching cubes : A high resolution 3D surface construction algorithm[C]//Proceedings of the 14th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques , 1987 :163-169.
- [22] Nielson G M. On marching cubes[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics , 2003 9(3) 283-297.
- [23] Herman G T , Liu H K. Three-dimensional display of human organs from computed tomography[J]. Computer Graphics & Image Processing , 1979 9(1) :1-29.
- [24] Lacroute P , Levoy M. Fast volume rendering using a shear-warp factorization of the viewing transformation[C]//Proceedings of the 21st Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques , 1994 :451-458.
- [25] Laur D , Hanrahan P. Hierarchical splatting : a progressive refinement algorithm for volume rendering[J]. ACM SIGGRAPH Computer Graphics , 1991 25(4) 285-288.
- [26] Levoy M. Display of surfaces from volume data[J]. Computer Graphics and Applications , IEEE , 1988 8(3) 29-37.
- [27] Engel K , Kraus M , Ertl T. High-quality pre-integrated volume rendering using hardware-accelerated pixel shading [C]//Proceedings of the ACM SIGGRAPH/EUROGRAPHICS Workshop on Graphics Hardware , 2001 9-16.
- [28] Rezk-Salama C , Engel K , Bauer M , et al. Interactive volume on standard PC graphics hardware using multi-textures and multi-stage rasterization[C]//Proceedings of the ACM SIGGRAPH/EUROGRAPHICS Workshop on Graphics Hardware , 2000 :109-118.
- [29] Schroder P. Digital geometry processing[R]. Reports on Leading-edge Engineering from the 2000 Nae Symposium on Frontiers of Engineering , 2001.
- [30] He H G. The research on digital geometry processing and its application in medical imaging visualization[D]. Beijing : Institute of Automation , Chinese Academy of Sciences , 2002.
- [31] SGI. OpenGL[EB/OL]. <http://www.opengl.org>.
- [32] Woo M , Sheridan M B. OpenGL programming guide : The official guide to learning openGL , Version 1.2[M]. Boston , MA , USA : Addison-Wesley Longman Publishing Co , Inc , 1999.
- [33] Ackerman M J. The visible human project[J]. Proceedings of the IEEE , 1998 86(3) 504-511.
- [34] Austern M H. Generic programming and the STL : Using and extending the C++ standard template library [M]. Massachusetts : Addison-Wesley , 1998.
- [35] GCRC (German Cancer Research Center). Medical imaging interaction toolkit[EB/OL]. <http://www.mitk.org/>.
- [36] Wolf I , Vetter M , Wegner I , et al. The Medical Imaging Interaction Toolkit (MITK) : A toolkit facilitating the creation of interactive software by extending VTK and ITK[C]//Proceedings of SPIE , 2004 5367 :16-27.
- [37] Martin K , Hoffman B. Mastering CMake : A cross-platform build system. CliftonPark , NY : KitwareInc , 2006.
- [38] Heesch D. Doxygen[EB/OL]. <http://www.doxygen.org/>.
- [39] Berliner B. CVS II : Parallelizing software development[C]//Proceedings of the USENIX Winter 1990 Technical Conference , 1990 341-351.
- [40] Udupa J K. 3D Viewnix[EB/OL]. <http://www.mipg.upenn.edu/~Vnews/index.html>.
- [41] Wu Y C , Yencharis L. 3D-DOCTOR : Create more accurate 3D models using vector-based technologies[J]. Advanced Imaging Magazine , 1998 10(1) :16-21.
- [42] Able Software Corp. 3D Doctor[EB/OL]. <http://www.3d-doctor.com/>.
- [43] MIMICS. Materialise[EB/OL]. <http://www.materialise.com/materialise/view/en/92078-Mimics.html>.
- [44] Pieper S , Halle M , Kikinis R. 3D Slicer[C]//2004 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging : Macro to Nano , 2004 632-635.
- [45] Brigham and Women's Hospital. 3D Slicer[EB/OL]. <http://www.slicer.org>.
- [46] Favre J M , Valle M. AVS and AVS/Express[M]. Elsevier : Visualization Handbook , 2005 655-672.
- [47] Zhao M C , Tian J , Zhu X , et al. The design and implementation of a C++ toolkit for integrated medical image processing and analyzing[C]//Proceedings of SPIE , 2004 , 5367 39-47.

- [48] Silva C , Chiang Y J , El-Sana J , et al. Out-of-Core algorithms for scientific visualization and computer graphics[C]//Visualization'02 , 2002.
- [49] Farias R , Silva C T. Out-of-Core rendering of large , unstructured grids[J]. Computer Graphics and Applications , IEEE , 2001 21(4) :42-50.
- [50] Farias R , Mitchell J , Silva C T. Zsweep : An efficient and exact projection algorithm for unstructured volume rendering[C]//Proceedings of the 2000 IEEE Symposium on Volume Visualization , 2000 91-99.
- [51] Chiang Y J , Farias R , Silva C T , et al. A unified infrastructure for parallel out-of-core isosurface extraction and volume rendering of unstructured grids[C]//Proceedings of the IEEE 2001 Symposium on Parallel and Large-data Visualization and Graphics , 2001 59-66.
- [52] Wang S R , Jia F C , Sun X P , et al. Hardware-accelerated volume rendering based on digital human slice images[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics , 2005 17(9) :1997-2002.
- [53] Tong X , Tang Z , Xu Z. Efficiently rendering large volume data using texture mapping hardware[J]. Journal of Tsinghua University , 2000 40(1) :72-75.
- [54] The Medical Image Group of Fudan University. 3D medical image software[EB/OL]. <http://www.medicalimage.com.cn/index.htm>.
- [55] Institute of CAD&CG , Dalian University of Technology. CT&MRI based 3D medical image reconstruction and visualization system[EB/OL]. <http://www.cnsdit.net/study/view.jsp?id=2898>.
- [56] Shandong University. Medical image process software system[EB/OL]. <http://sysg.sdu.edu.cn/xuanchuan/Article/ArticleShow.asp?ArticleID=222>.
- [57] CASIA. Medical image processing group[EB/OL]. <http://www.3dmed.net/>.
- [58] Tian J , Xue J , Dai Y K. Algorithm design and platform implementation of medical imaging[M]. Beijing : Tsinghua University Press , 2007.
- [59] Tian J , Zhao M C , He H G. Development and implementation of medical imaging toolkit[M]. Beijing : Tsinghua University Press , 2004.
- [60] Medical Image Processing Group. MITK(Medical Imaging Toolkit)[EB/OL]. <http://www.mitk.net>.
- [61] Zhao M C , Tian J , Xue J , et al. Design and implementation of MITK for 3D medical image processing and analyzing[J]. Journal of Software , 2005 16(4) :485-495.
- [62] Gamma E , Helm R , Johnson R , et al. Design patterns : Elements of reusable object-oriented software[M]. [S.l.] : Addison-Wesley , 1995.
- [63] Sethian J. Fast Marching Methods[J]. SIAM Review , 1999 , 41(2) :199-235.
- [64] Osher S , Sethian J. Fronts propagating with curvature-dependent speed : Algorithms based on Hamilton-Jacobi formulations[J]. Journal of Computational Physics , 1988 , 79(1) :12-49.
- [65] Kass M , Witkin A , Terzopoulos D. Snakes : Active contour models[J]. International Journal of Computer Vision , 1988 1(4) :321-331.
- [66] Manousakas I N , Undrill P E , Cameron G G. Split-and-merge segmentation of magnetic resonance medical images : Performance evaluation and extension to three dimensions[J]. Computers and Biomedical Research , 1998 , 31(6) :393-412.
- [67] Sahoo P , Wilkins C , Yeager J. Threshold selection using Renyi's entropy[J]. Pattern Recognition , 1997 30(1) :71-84.
- [68] Zhang Y J , Gerbrands J J. Transition region determination based thresholding[J]. Pattern Recognition Letters , 1991 , 12(1) :13-23.
- [69] Falcao A X , Udupa J K , Samarasekera S , et al. User-steered image segmentation paradigms : Live wire and live lane[J]. Graphical Models and Image Processing , 1998 , 60(4) :233-260.
- [70] Maes F , Vandermeulen D , Suetens P. Medical image registration using mutual information[J].Proceedings of the IEEE , 2003 91(10) :1699-1722.
- [71] Maes F , Collignon A , Vandermeulen D , et al. Multimodality image registration by maximization of mutual information[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging , 1997 , 16(2) :187-198.
- [72] Besl P J , McKay H D. A method for registration of

- 3-D shapes[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(2): 239-256.
- [73] Umeyama S. Least-squares estimation of transformation parameters between twopoint patterns[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13(4): 376-380.
- [74] Luo R Y, Ru Q, Zeng S Q. Use MMX and SSE instruction in medical image processing[J]. Application Research of Computers, 2005, 1: 239-242.
- [75] Xue J, Tian J, Dai Y K, et al. Research on the processing framework and the fast volume rendering algorithms for out-of-core medical data[J]. Journal of Software, 2007.
- [76] Xue J, Tian J, Chen J, et al. An efficient out-of-core volume ray casting method for the visualization of large medical data sets[C]//Proceedings of SPIE, 2007, 6509: 650920.
- [77] He H G, Tian J, Yang H, et al. 3D medical image diagnosis workstation-3dmed[J]. Chinese Journal of Stereology and Image Analysis, 2001, 6(2): 73-77.
- [78] He H G, Tian J. Virtual cutting and its application in medical imaging[J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2002, 19(2): 72-74.
- [79] Tian J, Zhao M C, Xue J, et al. Medical imaging computation and processing platform: Research and implementation[C]//Proceeding of Visualization, Imaging, and Image Processing, 2004.
- [80] He H, Tian J, Zhao M C, et al. 3D medical imaging computation and analysis platform[C]//IEEE International Conference on Industrial Technology, 2006: 1160-1165.

附中文参考文献:

- [1] 田捷,包尚联,周明全.医学影像处理与分析[M].北京:电子工业出版社,2003.
- [30] 何晖光.数字几何的研究及其在医学可视化中的应用[D].北京:中科院自动化所,2002.
- [52] 王少荣,贾富仓,孙晓鹏,等.数字人切片数据的硬件加速体绘制[J].计算机辅助设计与图形学学报,2005,17(9): 1997-2002.
- [54] 复旦大学医学影像组.三维医学影像软件[EB/OL].http://www.medicalimage.com.cn/index.htm.
- [55] 大连理工大学 CAD&CG 研究所.基于 CT&MRI 的医学图像三维重构可视化系统[EB/OL].http://www.cnsdit.net/study/view.jsp?id=2898.
- [56] 山东大学.医学图像处理软件系统[EB/OL].http://sysg.sdu.edu.cn/xuanchuan/Article/ArticleShow.asp?ArticleID=222.
- [58] 田捷,薛健,戴亚康.医学影像算法设计与平台构建[M].北京:清华大学出版社,2007.
- [59] 田捷,赵明昌,何晖光.集成化医学影像算法平台理论与实践[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [61] 赵明昌,田捷,薛健,等.医学影像处理与分析开发包 MITK 的设计与实现[J].软件学报,2005,16(4): 485-495.
- [74] 罗若愚,鲁强,曾绍群.在医学图像处理中使用 MMX 及 SSE 指令[J].计算机应用研究,2005,1: 239-242.
- [75] 薛健,田捷,戴亚康,等.海量医学数据处理框架及快速体绘制算法研究[J].软件学报,2007.
- [77] 何晖光,田捷,杨骅,等.三维医学影像诊断工作站-3dmed[J].中国体视学与图像分析,2001,6(2): 73-77.
- [78] 何晖光,田捷.虚拟切割及其在医学影像中的应用[J].中国医学物理学杂志,2002,19(2): 72-74.



LI Enzhong received the M.S. degree in Medicine from Harbin Medical University in 1985. He researched on medical imaging, especially functional imaging, in Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences (CASIA), and received the Ph.D. degree in Engineering in 2003. Interiorly, he first studied BOLD-fMRI in 1995. He ever worked at the Department of MRI in Shougang General Hospital, as well as the joint laboratory of the Beijing Tiantan Hospital and CASIA. Currently, he is working at the Department of Life Sciences, National Natural Science Foundation of China.

李恩中,1982年毕业于哈尔滨医科大学,1985年在该校获得医学硕士学位,2003年在中国科学院自动化研究所获得工学博士学位,主要研究领域为医学影像学以及医学图像分析,尤其是脑功能图像分析及处理,1995年在国内最早开展 BOLD-fMRI 研究。曾在首钢总医院磁共振室和北京天坛医院-中科院自动化所联合实验室工作,现工作于国家自然科学基金委员会生命科学部。