

张晓东 罗火灵 编著

VTK图形图像 开发进阶

- 原创的 VTK 中文教程
- 从 VTK 数据结构到开发进阶，深入浅出
- 通过丰富的实例分析 VTK 在图形图像处理中的应用
- 详解 Qt 与 MFC 平台下 VTK 应用程序开发
- 全面剖析 VTK 设计框架，便于用户对 VTK 进行扩展



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



信息科学与技术丛书

VTK 图形图像开发进阶

张晓东 罗火灵 编著



机械工业出版社

本书系统地介绍了 VTK 基础知识与开发技术,帮助 VTK 用户从入门到进阶,快速进入项目实战。本书第 1 章是 VTK 概览,介绍 VTK 的发展和编译安装;第 2 章以实例开篇,分析 VTK 渲染引擎和可视化管线;第 3 章介绍 VTK 的基本数据结构,并在第 4 章中以实例分析 VTK 中数据读写功能;第 5~6 章通过实例阐述 VTK 在图像和图形处理中的应用;第 7 章分析 VTK 的体绘制技术;第 8 章讲述 VTK 交互技术;第 9 章内容为 VTK 在 Qt、MFC 等环境下的开发技术;第 10 章分析了 VTK 的基础架构和管线机制,并通过实例讲解自定义 Filter 类;附录中列举了 VTK5 与 VTK6 的区别,并给出了 VTK 中文的实现。

图书在版编目(CIP)数据

VTK 图形图像开发进阶 / 张晓东, 罗永灵编著. —北京: 机械工业出版社, 2015.4

(信息科学与技术丛书)

ISBN 978-7-111-49628-1

I. ①V… II. ①张… ②罗… III. ①图形处理—软件开发②图像处理—软件开发 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 049160 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 车 忱 责任校对: 张艳霞

责任印制: 李 洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2015 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·21.25 印张·527 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-49628-1

定价: 63.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线: (010) 88361066

读者购书热线: (010) 68326294

(010) 88379203

封面防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

金书网: www.golden-book.com

出版说明

随着信息科学技术的迅速发展，人类每时每刻都会面对层出不穷的新技术和新概念。毫无疑问，在节奏越来越快的工作和生活中，人们需要通过阅读和学习大量信息丰富、具备实践指导意义的图书来获取新知识和新技能，从而不断提高自身素质，紧跟信息化时代发展的步伐。

众所周知，在计算机硬件方面，高性价比的解决方案和新型技术的应用一直备受青睐；在软件技术方面，随着计算机软件的规模和复杂性与日俱增，软件技术不断地受到挑战，人们一直在为寻求更先进的软件技术而奋斗不止。目前，计算机和互联网在社会生活中日益普及，掌握计算机网络技术和理论已成为大众的文化需求。由于信息科学技术在电工、电子、通信、工业控制、智能建筑、工业产品设计与制造等专业领域中已经得到充分、广泛的应用，所以这些专业领域中的研究人员和工程技术人员越来越迫切需要汲取自身领域信息化所带来的新理念和新方法。

针对人们了解和掌握新知识、新技能的热切期待，以及由此促成的人们对语言简洁、内容充实、融合实践经验的图书迫切需要的现状，机械工业出版社适时推出了“信息科学与技术丛书”。这套丛书涉及计算机软件、硬件、网络 and 工程应用等内容，注重理论与实践的结合，内容实用、层次分明、语言流畅，是信息科学与技术领域专业人员不可或缺的参考书。

目前，信息科学技术的发展可谓一日千里，机械工业出版社欢迎从事信息技术方面工作的科研人员、工程技术人员积极参与我们的工作，为推进我国的信息化建设作出贡献。

机械工业出版社

序

接到作者电话要我为他们的新书作序，颇为惶恐，因为五年前我是从作者录制的 VTK (Visualization Toolkit) 入门视频开始学习可视化技术的，而且我的 VTK 技术肯定掌握得不如他们全面和深入。但是想到和作者结缘是因为 VTK，如今两位作者把他们多年的经验积累成书出版，对于像我当年那样需要 VTK 入门和深入学习的人员无疑是个福音。作为这个领域的从业者，加上这份信任更让我义不容辞，就借这个机会谈谈我对 VTK 应用的体会和想法。

VTK，它来了

这是个数据爆炸、互联互通、绚丽多彩的信息时代，我们的每一次呼吸伴随着无数信息的产生、传递和展示。视觉是人类获取信息最重要的通道，在计算机学科的分类中，利用人眼感知能力对数据进行交互的可视表达以增强认知的技术，称为可视化技术。数据可视化技术构建了数据到视觉之间的桥梁，让我们从不同的视角和维度来观察这个世界，洞察那些海量数据背后的知识、内涵和规律。

互联网推动这个时代发生了一场深刻的变革，而互联网发展倡导的共享、开放、平等的理念催生了软件领域的开源共享，而开源共享又极大程度地促进了互联网和软件技术的发展。

本书介绍的 VTK 就是在这样一个大背景下诞生并发展的开源软件。开放和平等聚集了众多的开发者社群，同时也促进了其自身不断的进步和发展，开源共享使得 VTK 在各种应用和差异化平台下都得到了长足的发展，在这个基础上发展出不同应用方向的分支工具包，尤其是已经广泛应用于科学数据的三维可视化，如建筑学、气象学、生物学、航天航空领域等，其中在医学影像领域的应用最为常见。

VTK 是一个很适合进入 3D 可视化技术领域的入口，因为经过 20 年左右的积累，这个工具包在数据描述、存储管理、图像处理、三维重建、交互接口和可视化等方面积累了非常多的基础功能，通过对这些功能的学习，结合 VTK 提供的实例进行学习，那么在 3D 可视化领域的技术入门就站在一个相对较高的起点上，尤其这本书是用中文书写的，并且经过实战检验，能更快地帮助入门者进阶到可以实战做项目的阶段。另外，VTK 支持 Linux、Windows、Mac OS 等操作系统，支持和不同语言的 UI 开发库的结合，且不断出现和 VTK 相关的一些扩展开源库，可以为未来 3D 可视化应用提供支撑和无限可能。

VTK，我们来了

图像和图形处理技术随着近年 CPU 和 GPU 的计算能力不断增长，在处理能力和速度方面的进步使得一些三维可视化的潜在需求得到激发，从而走入我们的生活。3D 电影给我们更真实的沉浸感，3D 地图让我们更易于识别地理标识，虚拟现实可以给我们展示一个虚拟现实场景。2014 年 4 月，Facebook 用 20 亿美元收购沉浸式虚拟现实技术厂商 Oculus VR，

这让人感觉有点疯狂，但是我们应该看到隐藏在这背后的信息——这些新的图像和图形技术正在给我们的生活带来巨大的变化，而且我相信这种改变以后会无处不在，因为我们生活在一个立体维度的世界，而 3D 可视化能更真实地表达这个世界。

在医学影像领域，经过多年的发展，CT 和 MRI 图像的技术是常见的诊断方法，但是为了进行更加精准的治疗和手术，医生需要三维医学影像的信息来评估病情和确定治疗方案。例如，通过 3D 图形缩放、旋转、透明化，既可立体化、多视角、全方位地观察肿瘤的部位、大小、形态，又可有针对性地重点观察肿瘤与血管的关系，据此进行术前精细的仿真规划，实现虚拟手术切除后残留体积的计算，科学评估肿瘤的可切除性。此外，在手术方案、治疗评估、手术规划、手术导航、3D 打印等方面都有广阔的应用前景，技术的进步给出直接感官刺激之后，会激发更多的可能。

回到五年前那个炎热的下午，在华南师范大学一间典型的科研办公室中，简易木质办公桌上那台图形工作站显得十分扎眼，当屏幕上出现的 3D 医学影像可视化模型开始旋转时，那种视觉上的震撼和冲击让人至今难忘。而当我更深入地了解到，就是利用这种技术曾经帮助一个在医学上被判死刑的人重获新生时，我马上认定就是它了。此后的几年我一直关注这个项目。

于是有了在第一段描述的内容，也因此结识了火灵和晓东两位作者以及在这个领域内的几位先行者。那个时候的圈子很小，资料很难找，好在有火灵手把手教的视频以及他热心和真诚的帮助，我们最终选择 VTK 作为核心基础库来开发我们的应用和产品。

使用了 VTK 这么久，说说我们团队的心得吧。身处开放的时代，做任何事情我们都需要站在前人的肩膀上，因此在 3D 可视化技术领域，VTK 作为起点几乎是不二的选择。至今我们还在庆幸当初的选择，我们团队在这个核心的基础上利用 MFC 开发的架构，差不多用半年时间就实现了在医学影像领域的产品级架构，一年左右的时间推出第一个产品原型，这些都得益于这个选择。

本书对基本概念、数据结构、图像处理、图形处理、可视化、交互界面以及 VTK 的发展和扩展都做了详尽的介绍，是目前我看到的介绍 VTK 的中文书籍中最好的一本。在此，结合我们的工作和应用的经验，对 VTK 和本书的学习给出如下建议：基本概念和数据结构是最重要的基础，是必须重点掌握的，这对于理解 3D 可视化和 VTK 本身尤为关键；图像和图形处理可以重点把握实现的方法，具体的算法可以根据需要来进行选择性的学习；可视化管线（Pipeline）是实现从数据到显示结果的组织形式，是 VTK 中的核心概念，需要很好地理解和掌握；涉及 GUI 和交互就需要根据不同的应用和平台进行，考虑的核心因素是数据结构和交互命令的接口，这个部分也可以根据已有的经验去选择，比如 MFC 还是 Qt 基本都不是问题，熟悉哪个就选哪个吧。

当然，要学好和用好 VTK，我觉得必要的基础不仅是 C/C++，还要学好一些基础的计算机课程，例如操作系统、编译原理、数据结构和计算机图形学，这几门计算机课程对于学好、用好这个工具包是必备的基础。因为我们不仅需要关心 VTK 提供怎样的开发接口，而

且还需要理解 VTK 的代码组织、数据管理、代码重用、关键算法等相关内容，这些内容对于深入学习都大有裨益。不过大家千万别被我吓倒，我说的这几门功课是计算机学科最基本的课程。重要的是基本概念有了，需要什么知识再去深入研究是最好的学习和工作方法，在这项技术上也不例外。

该你们了，一起来学习 VTK

我想说，在这个浮躁、物质化的时代，能编写专业的技术书籍并不容易。尤其在了解两位作者是在繁忙的工作之余去编写本书后，对于他们所做的工作和坚持的态度，我感到由衷的敬佩和感动。我和他们一样，相信在这个世界上，美好的事情终究会发生，但是需要从日常的点滴和不懈的坚持开始。对于 3D 可视化来说，就从这本书开始！

是为序。

VTK 老兵叶建平，深圳市旭东数字医学影像技术有限公司总经理

2014 年 10 月 12 日

前 言

视觉是人类获取外部信息的最重要方式，研究表明，人类通过视觉通道获取的信息占总获取信息的 80%以上。正所谓“百闻不如一见”，视觉信息比文字、数字等信息更加直观，信息量更为丰富。因此，通过图形图像等方式将数据进行可视化，有助于人们理解数据。

早在 20 世纪初，人们已经将图表和统计等低级的可视化技术应用于数据分析中。在现代社会中，随着科学技术的迅猛发展，借助超级计算机、航空航天、CT（计算机断层扫描）、核磁共振以及地质勘探等手段，人们可以获得海量的科学数据。而人们进行科学研究的目的不仅仅是为了获取数据，更重要的是分析数据以探索自然规律，这成为人们面临的巨大挑战。而传统的可视化技术已不能满足需要，科学计算可视化得到了广泛的关注与发展。

科学计算可视化

科学计算可视化的概念早在 20 世纪 80 年代就已经提出。1987 年 2 月，美国国家科学基金会召开的一个专题研讨会上正式提出了“可视化”一词，并在会后发表的正式报告中给出了科学计算可视化的定义、覆盖领域以及近期与长期研究方向。这标志着科学计算可视化作为一个学科在国际范围内已经成熟。

科学计算可视化的含义是运用计算机图形学的原理和方法，将科学与工程中产生的大规模数据转换为图形、图像，以直观的方式显示出来。它涉及计算机图形学、图像处理、计算机视觉、人机交互等多个研究领域，是当前计算机图形学的重要研究方向。随着计算机硬件配置不断提高，计算能力极大增强，许多重要的图形图像处理算法可以快速地通过硬件实现。因此，基于科学计算可视化技术来直观地展示数据计算过程与结果，并进行交互处理，已经成为可能。

可视化函数库

随着科学数据可视化技术的发展，出现了大量的新的软硬件可视化技术和手段。广大从事可视化工作的科研与工程人员迫切需要一种功能强大的可视化开发工具。相信许多人已经接触或者听说过 OpenGL。OpenGL 是行业领域中最广泛接纳的 2D/3D 图形 API。它采用 C 语言风格，提供大量的函数来实现从简单到复杂图形的渲染。另外一个与 OpenGL 类似的函数库是微软的 Direct3D。然而，无论是 OpenGL 还是 Direct3D，都仅提供底层的 API 接口供用户使用，因此学习和使用这两个工具都有一定的难度，通常需要用户深入理解计算机图形学的基础知识。另外，它们并未封装当前流行的可视化算法，例如体绘制算法。对于工程人员来说，使用底层 API 开发这些算法，既制约了工程开发效率，也不利于代码复用。因此，工程开发与科研人员更需要一种功能强大、方便易用的可视化开发库，而 VTK（Visualization Toolkit，可视化工具包）即是这样一种工具。

VTK 是一个用于可视化应用程序构造与运行的支撑环境，它是在 OpenGL 的基础上采

用面向对象的设计方法发展起来的。VTK 将可视化开发过程中经常遇到的细节屏蔽起来，并将常用的可视化算法（例如 Marching Cubes 方法）以类的方式进行封装，为从事可视化应用程序开发工作的研究人员提供了一个强大的开发工具，因此 VTK 发布后得到了广泛的关注与应用。

写作初衷

VTK 是一种开源的、跨平台的、可自由获取的可视化函数库，来自世界各地的开发人员可以修改以及贡献个人的代码。同时，VTK 很早就组建有用户及开发者社区，方便世界各地的 VTK 使用人员及开发人员的技术交流。截至当前，系统介绍 VTK 的书籍主要有 Kitware (<http://www.kitware.com>) 公司出版的 VTK 教科书及配套的《VTK User's Guide》两本书（详见本书参考文献）。

国内的 VTK 用户和开发人员在学习与使用 VTK 时，通常参考 VTK 的官方文档以及上述两本英文书籍。此外，网络上介绍 VTK 的文章虽多如牛毛，但大都比较零碎，缺乏系统性。截至本书出版，国内还未出现系统介绍 VTK 的中文书籍。

本书的两位作者相识于 2010 年，在此之前，双方都学习与使用过 VTK，2010 年起共同就职于深圳先进技术研究院，在共事期间，曾使用 VTK、ITK（Insight Segmentation and Registration Toolkit）、IGSTK（Image-Guided Surgery Toolkit）、CMake 等工具开发过多个科研项目，一路走来，深知各种开源框架、算法的学习门槛是多么让人望而生畏，深刻体会过 VTK 学习和使用过程中的艰辛。从 2010 年起，本书的两位作者共同制作了《一起学习 VTK》和《一起学习 ITK》等系列视频教程，承蒙各位初学者的厚爱，从视频发布起，得到了不少初学者的支持。这也给了作者编著一本系统介绍 VTK 中文书籍的信心。

2011 年起，本书作者陆续在网络上发表多篇与 VTK、ITK 等相关的文章，并于 2013 年初开通了 CSDN 专栏。本书即是在该专栏的基础上，对内容重新整理与补充，在工作之余前后历时两年编写了本书，旨在为 VTK 用户提供 VTK 入门与提高的参考资料，为 VTK 用户提供一定的指导。

在写作本书时，作者得到了来自不少同行的帮助，其中特别要感谢的是来自深圳市旭东数字医学影像技术有限公司的张磊，他在繁忙的工作之余给本书部分章节作了校对并提出了很多宝贵意见，使本书的内容更加完善。

本书面向的读者

本书从 VTK 最基础的部分开始讲起，并一步步深入地探讨 VTK 底层的架构，比如智能指针、可视化管线等内容，最后介绍如何基于 VTK 的框架实现自己的算法。因此，本书既适用于 VTK 零基础的用户，也适用于对 VTK 有一定的了解，想进一步提高的开发人员。

本书通过大量的实例来阐释 VTK 的学习和使用方法，在选择实例时，结合作者开发经历，以实用性实例为主。书中实例全部采用 C++ 实现，在 Window 7、Visual Studio 2008 环境下均测试通过，示例程序和运行结果截图可在机械工业出版社网站 (<http://www.cmpbook.com>) 免费下载。

本书章节安排

本书主要内容如下：第 1 章为 VTK 概览，主要介绍了 VTK 的发展历程，并详细分析了 VTK 的编译安装过程；第 2 章以实例开题，着重分析了 VTK 渲染引擎和可视化管线；第 3 章详细分析了 VTK 的基本数据结构，并在第 4 章中以实例介绍 VTK 常用数据的读写功能；第 5 章内容为 VTK 图像处理，主要涉及图像基础操作、边缘检测、图像平滑以及图像频域处理；第 6 章分析 VTK 图形处理技术，包括网格平滑、封闭性检测、连通分析、多分辨率处理、表面重建、点云配准和纹理映射等内容；第 7 章介绍 VTK 体绘制技术，通过实例分析了不同的体绘制算法；第 8 章为 VTK 交互技术，是实现 VTK 应用程序中用户交互的主要手段；第 9 章为 VTK 在 Qt、MFC 等环境下的开发技术；第 10 章分析了 VTK 的基础架构和管线机制，并通过实例讲解自定义 Filter 类；附录中列举了 VTK5 与 VTK6 的区别，并给出了几个实用 VTK 工程。

由于受到学识和时间的限制，本书中难免有不足之处，敬请广大同行和读者批评指正。

张晓东 罗火灵

2014.11.5

目 录

出版说明
序
前言

第 1 章 VTK 概览	1	2.6 本章小结	46
1.1 VTK 概述	1	第 3 章 VTK 基本数据结构	47
1.1.1 VTK 是什么	1	3.1 可视化数据的基本特点	47
1.1.2 VTK 能做什么	1	3.2 数据对象和数据集	48
1.1.3 如何获取 VTK 源码	2	3.2.1 vtkDataObject	48
1.1.4 VTK 学习资源	5	3.2.2 vtkDataSet	48
1.2 VTK 的编译安装	5	3.3 单元类型	53
1.2.1 编译 VTK 的准备工作	6	3.3.1 线性单元	56
1.2.2 编译 VTK 的详细步骤	7	3.3.2 非线性单元	57
1.3 创建一个简单的 VTK 程序	12	3.4 属性数据	59
1.3.1 什么是 CMake	12	3.4.1 标量数据	60
1.3.2 CMakeLists.txt 脚本文件	13	3.4.2 矢量数据	61
1.3.3 CMake 的几个常用命令	16	3.4.3 纹理坐标	61
1.3.4 一个简单的 VTK 工程	19	3.4.4 张量数据	61
1.4 本章小结	20	3.5 不同类型的数据集	62
第 2 章 VTK 的基本概念	21	3.5.1 vtkImageData	62
2.1 一个稍微复杂的 VTK 程序	21	3.5.2 vtkPolyData	63
2.2 三维场景的基本要素	26	3.5.3 vtkRectilinearGrid	63
2.2.1 灯光	26	3.5.4 vtkStructuredGrid	63
2.2.2 相机	27	3.5.5 vtkUnstructuredGrid	63
2.2.3 颜色	29	3.5.6 vtkUnstructuredPoints	64
2.2.4 纹理映射	30	3.6 数据的存储与表达	64
2.3 坐标系统及空间变换	31	3.6.1 vtkDataArray	64
2.3.1 坐标系统	31	3.6.2 数据对象的表达	66
2.3.2 空间变换	34	3.7 本章小结	67
2.4 VTK 管线	35	第 4 章 VTK 数据的读写	68
2.4.1 VTK 渲染引擎	35	4.1 Reader 与 Writer 类	68
2.4.2 VTK 可视化管线	37	4.1.1 vtkImageData 类型	68
2.5 VTK 智能指针	41	4.1.2 vtkPolyData 类型	73
2.5.1 引用计数	41	4.1.3 vtkRectilinearGrid 类型	74
2.5.2 智能指针	42	4.1.4 vtkStructuredGrid 类型	74
2.5.3 运行时类型识别	45	4.1.5 vtkUnstructuredGrid 类型	74

4.2	场景的导入与导出	74	6.1.3	vtkPolyData 属性数据	137
4.3	本章小结	76	6.2	基本的图形操作	141
第 5 章	VTK 图像处理	77	6.2.1	法向量计算	143
5.1	VTK 图像创建	77	6.2.2	符号化 Glyphing	146
5.1.1	VTK 图像数据结构	77	6.2.3	曲率计算	147
5.1.2	VTK 图像创建	78	6.3	网格平滑	149
5.2	VTK 图像显示	80	6.4	封闭性检测	151
5.2.1	vtkImageViewer2	80	6.5	连通区域分析	152
5.2.2	vtkImageActor	82	6.6	多分辨率处理	155
5.2.3	图像融合	84	6.6.1	网格抽取	155
5.3	VTK 图像基本操作	85	6.6.2	网格细化	156
5.3.1	图像信息的访问与修改	85	6.7	表面重建	158
5.3.2	图像像素值的访问与修改	88	6.7.1	三角剖分	158
5.3.3	图像类型转换	91	6.7.2	等值面提取	160
5.3.4	图像颜色映射	92	6.7.3	点云重建	162
5.3.5	区域提取	96	6.8	点云配准	163
5.3.6	直方图统计	102	6.9	纹理映射	167
5.3.7	图像重采样	107	6.10	本章小结	168
5.3.8	图像运算	109	第 7 章	体绘制	170
5.3.9	图像二值化	112	7.1	体绘制管线	170
5.4	边缘检测	114	7.2	vtkVolumeMapper	173
5.4.1	梯度算子	114	7.2.1	vtkVolumeRayCastMapper	173
5.4.2	Canny 算子	117	7.2.2	vtkFixedPointVolumeRay CastMapper	176
5.4.3	拉普拉斯算子	120	7.2.3	vtkGPUVolumeRay CastMapper	177
5.5	图像平滑	121	7.2.4	纹理映射体绘制	178
5.5.1	均值滤波	122	7.2.5	裁剪	181
5.5.2	高斯平滑	123	7.2.6	法向编码	182
5.5.3	中值滤波	124	7.3	vtkVolume	183
5.5.4	各向异性滤波	124	7.3.1	不透明度传输函数	183
5.6	频域处理	125	7.3.2	梯度不透明度函数	185
5.6.1	快速傅里叶变换	126	7.3.3	颜色传输函数	185
5.6.2	低通滤波	128	7.3.4	光照与阴影	187
5.6.3	高通滤波	130	7.3.5	vtkLODProp3D	188
5.7	本章小结	132	7.4	不规则网格数据体绘制 技术	189
第 6 章	VTK 图形处理	133	7.4.1	vtkUnstructuredGridVolume RayCastMapper	190
6.1	vtkPolyData 数据生成与 显示	133			
6.1.1	vtkPolyData 数据源	134			
6.1.2	vtkPolyData 数据的创建	135			

7.4.2	vtkUnstructuredGridVolume ZSweepMapper	190	9.1.4	用 QVTKWidget 整合 Qt 和 VTK	236
7.4.3	vtkProjectedTetrahedra Mapper	190	9.2	基于 MFC 的 VTK 应用程序	240
7.4.4	vtkHAVSVolumeMapper	191	9.2.1	基于单文档的 VTK 应用 程序	240
7.5	本章小结	192	9.2.2	基于 VTK 的图像重采样 程序	247
第 8 章	VTK 交互与 Widget	194	9.2.3	基于对话框的 VTK 应用 程序	253
8.1	观察者/命令模式	194	9.3	本章小结	264
8.1.1	事件回调函数	194	第 10 章	自定义 VTK 类	265
8.1.2	vtkCommand 子类	196	10.1	VTK 开发基础	265
8.2	交互器样式	198	10.1.1	引用计数与智能指针	265
8.2.1	vtkRenderWindowInteractor	198	10.1.2	vtkObject 类分析	269
8.2.2	vtkInteractorStyle	206	10.1.3	VTK 类的实现	273
8.3	VTK Widget	212	10.2	VTK 管线机制	279
8.3.1	创建 Widget 交互	216	10.2.1	信息对象类 vtkInformation	281
8.3.2	测量类 Widget	219	10.2.2	管线执行模型	286
8.3.3	标注类 Widget	220	10.3	自定义 Filter	290
8.3.4	分割/配准类 Widget	222	10.3.1	自定义 Filter 基本步骤	290
8.3.5	其他 Widget	223	10.3.2	Filter 实例	296
8.4	拾取	223	10.4	本章小结	302
8.4.1	点拾取	224	附录		303
8.4.2	单元拾取	226	附录 A	从 VTK 5.0 到 VTK 6.0	303
8.4.3	Prop 拾取	228	附录 B	体绘制传输函数控件	323
8.5	本章小结	230	附录 C	VTK 中文的实现	325
第 9 章	基于 VTK 的 GUI 应用程序	231	附录 D	VTK 在商业软件中 的应用	326
9.1	基于 Qt 的 VTK 应用程序	231	参考文献		328
9.1.1	用 CMake 管理 Qt 工程	231			
9.1.2	用 CMake 管理 Qt 与 VTK 工程	233			
9.1.3	环境变量的加载	234			

第 1 章 VTK 概览

1.1 VTK 概述

数据可视化主要是通过计算机图形学的方法，以图形、图像等形式清晰有效地传递、表达信息。随着数据获取手段的多样化以及数据规模的不断增长，数据可视化日益彰显其重要地位。从 20 世纪 90 年代起，针对数据可视化编程的工具包应运而生，VTK 是其中最具代表性的工具包之一。

也许读者尚未使用过 VTK，或者在这之前已经接触过 VTK，想进一步提高 VTK 编程技术，那么本书将会是最佳选择。学习 VTK 之前，读者要有一定的 C/C++ 编程知识以及基本的计算机图形学的理论知识。本书将会从 VTK 最基础的部分讲起，循序渐进，借助一系列的示例程序帮助读者学习并进一步提高 VTK 的开发技术。

1.1.1 VTK 是什么

VTK 的全称是 Visualization Toolkit，即可视化工具包，它是一个开源、跨平台、可自由获取、支持并行处理的图形应用函数库。

VTK 最早是作为 Prentice Hall 在 1993 年出版的《The Visualization Toolkit: An Object-Oriented Approach to 3D Graphics》一书的附件出现的。该书及相应的 VTK 软件由美国 GE 公司的三位研究人员 Ken Martin、Will Schroeder 和 Bill Lorensen 用闲暇时间合作编著与开发的，因此该软件的授权完全由他们决定。由于其开放源码式的授权，该书上市后，很快就建立起 VTK 的使用者及开发者社区交流平台，同时 GE（特别是 GE 医疗系统）与其他数家公司也开始提供对 VTK 的支持。

1998 年，Will Schroeder 和 Ken Martin 离开 GE 后创立了 Kitware 公司（<http://www.kitware.com>）。有了 Kitware 的资金支持，VTK 社区成长迅速，而且在学术研究及商业应用领域都受到了重用，例如 Slicer 生物医学计算软件使用 VTK 作为其核心、许多有关 VTK 的 IEEE 论文出现。VTK 也是许多大型研究机构，如美国的 Sandia、Los Alamos 及 Livermore 国家实验室与 Kitware 的合作基础，这些研究机构使用 VTK 作为数据可视化处理工具。VTK 同时也是美国国立卫生研究院（National Institutes of Health, NIH）创立的美国国家医学影像计算合作联盟（National Alliance for Medical Image Computing, NA-MIC）的关键计算工具。

1.1.2 VTK 能做什么

三维计算机图形、图像处理及可视化是 VTK 主要的应用方向。通过 VTK 可以根据许多学科（如建筑学、气象学、医学、生物学或者航空航天学）中的实验数据，进行逼

真的体、面、光源等渲染，从而帮助人们理解那些采取错综复杂的、规模庞大的数字呈现形式的科学概念或结果。

VTK 包含一个 C++ 类库，众多的编程语言接口层，包括 Tcl/Tk、Java、Python。VTK 是在三维函数库 OpenGL 的基础上采用面向对象的设计方法发展起来的，它将可视化开发过程中会经常遇到的细节屏蔽起来，并封装了一些常用算法，比如，VTK 将表面重建中比较常见的 Marching Cubes 算法封装起来，以类的形式供用户使用，这样在对三维规则点阵数据进行表面重建时就不必重复编写 Marching Cubes 算法的代码，只需直接使用 VTK 中已经提供的 `vtkMarchingCubes` 类即可。

VTK 为从事可视化应用程序开发工作的研究人员提供技术支持，是一个强大的可视化开发工具。它具有如下特点。

1) VTK 具有强大的三维图形功能。VTK 既支持基于体素的体绘制 (Voxel-Based Volume Rendering)，又保留了传统的面绘制 (Surface Rendering)，从而在极大地改善可视化效果的同时又可以充分利用现有的图形库和图形硬件。

2) VTK 的体系结构使其具有非常好的流 (Streaming) 和高速缓存 (Caching) 的能力，在处理大量的数据时不必考虑内存资源的限制。

3) VTK 能够更好地支持基于网络的工具，比如 Java 和 VRML。随着 Web 和 Internet 技术的发展，VTK 有着很好的发展前景。

4) VTK 能够支持多种着色语言，如 OpenGL 等。

5) VTK 具有设备无关性，这使得其代码具有良好的可移植性。

6) VTK 中定义了许多宏，这些宏极大地简化了编程工作并且加强了一致的对象行为。

7) VTK 具有丰富的数据类型，支持对多种数据类型进行处理。

8) VTK 的跨平台特性方便了各类用户。

1.1.3 如何获取 VTK 源码

VTK 是开放源码的，可以自由地从 VTK 网站 (<http://www.vtk.org>) 上免费获取源码，VTK 源码的下载页面地址为 <http://www.vtk.org/VTK/resources/software.html>。截至 2014 年 7 月，VTK 官方发布的最新版本为 6.1.0 (本书开始写作的时间是 2013 年初，当时 VTK 6.0.0 版本尚未正式发布，因此本书内容以 VTK 5.10.1 为标准。VTK 5.10.1 之后 VTK 官方发布了 VTK 6.0.0 版本，本书虽然没有使用最新的 VTK 版本，但是读者可以使用最新的 VTK 6.1.0 版本来学习本书。本书的附录详细介绍了 VTK 6.0.0 及后续版本的改动和最新特征，有兴趣的读者可以参考)。

本书所有示例程序和内容均以 VTK 5.10.1 版本为准。在 Windows 下，编译安装 VTK 需要下载的文件如下。

- `vtk-5.10.1.zip` (或 `vtk-5.10.1.tar.gz`) —— 包含了 VTK 所有核心源代码以及相关的示例程序，下载地址 <http://www.vtk.org/files/release/5.10/vtk-5.10.1.zip>，该文件必须下载。
- `vtkdata-5.10.1.zip` (或 `vtkdata-5.10.1.tar.gz`) —— 包含了 VTK 自带的示例或测试程序运行时需要用到的数据，可选择下载，地址 <http://www.vtk.org/files/release/5.10/vtkdata-5.10.1.zip>。

- **vtkDocHtml-5.10.1.tar.gz** —— VTK 的文档文件，在 Windows 下解压后，打开 index.html 文件即可查看 VTK 各个类以及程序接口详细的使用介绍。下载地址 <http://www.vtk.org/files/release/5.10/vtkDocHtml-5.10.1.tar.gz>，对 VTK 初学者来说，建议下载该文件。这些 HTML 文档都是由 Doxygen 工具 (<http://www.doxygen.org/>) 根据各个类的头文件自动生成的。
- **vtk-5.10.0-win32-x86.exe** —— 在 Windows 下安装完这个程序后，可以运行文件后缀为 .tcl 的 Tcl 脚本程序，VTK 自带的许多示例和测试程序都是用 Tcl 脚本写的，在第 2 章中会介绍如何运行 VTK 的 Tcl 脚本程序，因此建议安装这个程序。下载地址 <http://www.vtk.org/files/release/5.10/vtk-5.10.0-win32-x86.exe>。

除了可以下载 VTK 官方发布的稳定版本，还可以下载到最新的开发版本。VTK 的代码管理是采用分布式版本控制工具 Git，所以如果要下载最新的 VTK 源码（注意：最新的开发版本的 VTK 源码是 VTK 6.X 版本的，与本书采用的 VTK 5.10.1 的版本有所不同），需要先安装 Git，要求 Git 的版本至少为 1.6.6。

Windows 下可以下载文件 Git-1.7.9-preview20120201.exe（下载地址 <http://code.google.com/p/msysgit/downloads/list>）。安装完这个应用程序后，如果想使用用户图形界面的 Git，需要下载安装 TortoiseGit 工具，下载地址 <http://code.google.com/p/tortoisegit/downloads/list>。这些准备工作完成以后，就可以使用 TortoiseGit 从 VTK 代码仓库 (<http://vtk.org/VTK.git>) 中获取最新的开发版本的 VTK 源代码，具体步骤如下。

1) 以 D: 盘为例，在 D: 盘新建文件夹 VTK-git-src，右击该文件夹，从弹出的快捷菜单中选择 Git Clone 选项，如图 1-1 所示。

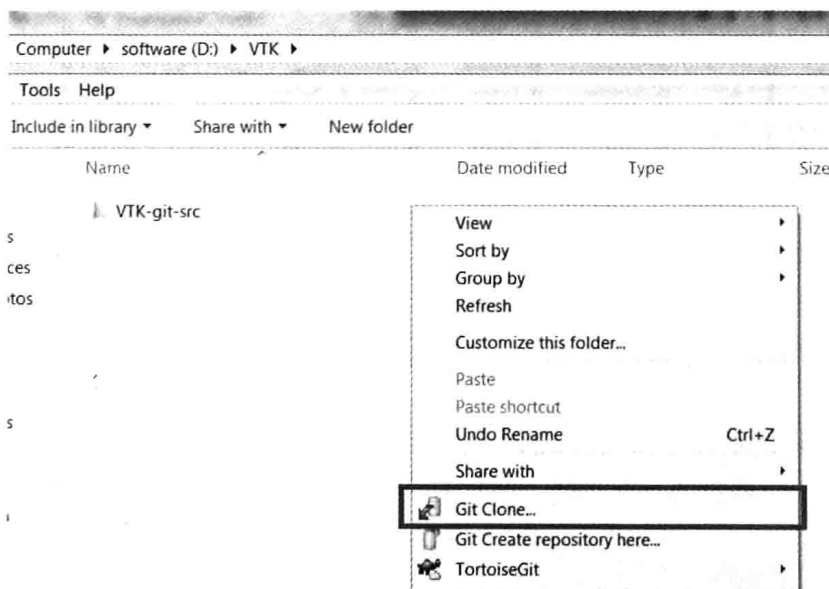


图 1-1 新建 VTK-git-src 文件夹界面

2) 在 Git clone 对话框的 Url 选项框里输入 VTK 的 Git 仓库地址 (<http://vtk.org/VTK.git>)，Directory 一栏表示本地下载目录，输入上一步新建的文件夹路径，即 D:\VTK\VTK-git-src\，然后单击 OK 按钮，即开始从 VTK 的 Git 仓库复制代码，如图 1-2 所示。

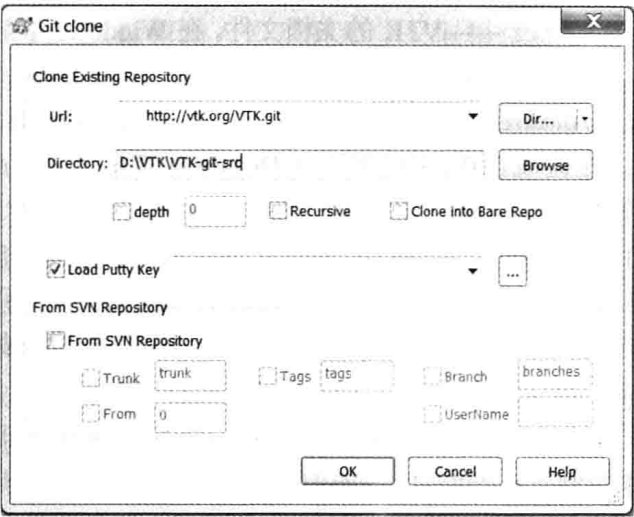


图 1-2 Git clone 对话框

3) 下载完 VTK 后的目录结构如图 1-3 所示。

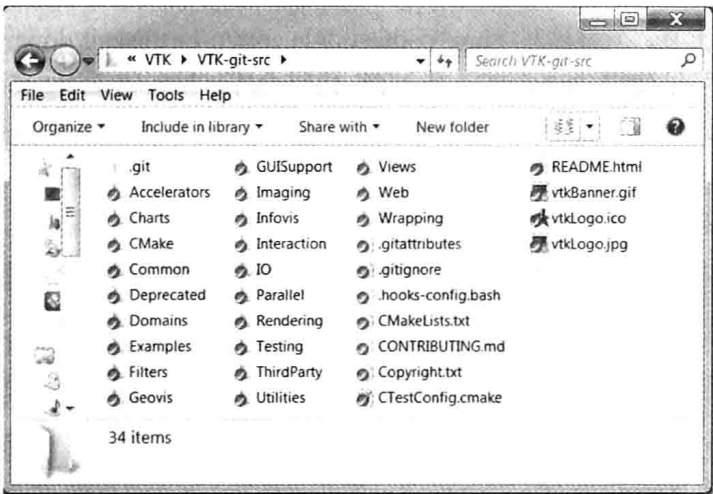


图 1-3 开发版本的 VTK 源码目录结构

同样的步骤也可以下载 VTKData，其 Git 地址为 <http://vtk.org/VTKData.git>，此处不再赘述。

除了采用用户图形界面的 TortoiseGit 下载 VTK，也可以使用 Git 命令下载，具体步骤为：打开 CMD 窗口，同样以 D: 盘为例，依次输入如下命令：

```
>D:
>mkdir VTK
>cd VTK
>mkdir VTK-git-src
>cd VTK-git-src
>git clone http://vtk.org/VTK.git . (注意：最后有一个点，表示当前目录)
```

Git 开始从 VTK Git 代码仓库里复制代码，如图 1-4 所示。