

三维 图像编程实验

周振环 郑小中 赵明 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

三维图像编程实验

周振环 郑小中 赵明 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是医学图像编程的实验性教材,主要利用编程用例来介绍如何使用三维可视化工具箱 VTK 和医学图像分割与配准工具箱 ITK 进行三维医学图像编程。本书的主要内容包括 VTK 与 ITK 的安装及混合使用、VTK 数据操作、VTK 图像操作、ITK 数据表达、ITK 滤波操作、ITK 分割算法、ITK 配准算法及 ITK 统计等。

本书中的医学图像数据和编程范例在随书携带的光盘中,可供读者运行和上机实验。

本书可作为医学影像学专业高年级本科生和研究生的教材,也可作为大学教师、公司研发人员进行医学图像研究时的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

三维图像编程实验/周振环,郑小中,赵明编著. —北京:电子工业出版社,2011.11

ISBN 978-7-121-14881-1

I. ①三… II. ①周… ②郑… ③赵… III. ①三维-造型设计:计算机辅助设计 IV. ①J06-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 215733 号

策划编辑:赵 娜

责任编辑:谭丽莎

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:29.75 字数:762 千字

印 次:2011 年 11 月第 1 次印刷

定 价:69.80 元(附 DVD 光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

国内医学图像编程一般采用 VC++6.0 来开发,其开发周期长,代码难以维护,特别是三维绘制速度慢、质量差;在使用 OpenGL 之后,三维绘制速度有了较大程度的提高,显示质量也得到了不断改善,但医学图像编程的浪潮并非如大多程序员期待的那样一帆风顺,主要原因有三个:第一,OpenGL 虽然存在很多优势,但编程门槛较高,代码实现更注重底层,编写代码复杂;第二,软件开发周期长这一令厂商和程序员头疼的问题也并未解决,致使无法保障软件如期投入市场;第三,常规和经典算法没有得到重复利用。

美国 Kitware 公司 1998 年推出的三维可视化工具箱 (Visualization Toolkit, VTK) 和 2002 年推出的医学图像分割与配准工具箱 (Insight Segmentation and Registration Toolkit, ITK) 很好地解决了上述问题。首先, VTK 采用完全的面向对象编程风格,不仅代码编写结构简单,还封装了各种三维、二维图像的显示算法和专用图像的读写对象,极大地方便了 2D/3D 图像的绘制;其次, ITK 采用泛型编程风格,编程灵活,也封装了大量的图像分割和配准算法,不仅使算法得到了重复利用,也缩短了软件开发周期;这两种工具包在欧美国家已广泛推广,并利用其开发性在不断完善和丰富。

本书主要围绕国内外现有资料,将 VTK 和 ITK 的内容以具体用例的形式展现出来,代码完整。本书的主要章节及内容安排如下:第 1 章 VTK 与 ITK 的安装与测试,详细介绍了 VTK 和 ITK 的安装方法,以及在 VC++2008 上面的使用用例;第 2 章 VTK 数据操作,通过本章可以了解 VTK 的编程结构(数据流模型);第 3 章 VTK 图形与图像,通过本章不仅可以接触到 VTK 同 MFC 的混合使用,还可以了解常规的面绘制、体绘制等方法 and 模型;第 4 章 ITK 数据表达,介绍了如何采用 ITK 描述一幅图像结构,以及常用的数据表达单元的使用;第 5 章滤波,本章开始主要介绍对图像处理的主要用例,主要包括门限处理、边缘检测、投射和亮度映射、梯度的应用、均值/中值滤波、数学形态学在图像处理中的应用、投票滤波、平滑滤波,以及几何变换和提取图像信息等用例;第 6 章 ITK 配准,在本章中将介绍 ITK 的配准框架、多形态配准、居中变换、多分辨率配准、优化器、形变配准、虚拟变形配准及基于模型的配准方法用例;第 7 章图像分割,主要用例包括基于区域生长的分割、基于分水岭的图像分割、基于水平集的分割、基于混合法的图像分割及特征提取等算法;第 8 章统计,进一步介绍了数据容器、统计的算法和函数、图像直方图、图像信息理论和分类等用例。

本书以具体用例介绍为主要特点,随书光盘包含了完整的代码和可执行程序,可

供读者运行和上机实验。本书由周振环、郑小中、赵明编著。本书以实验为主，覆盖面广，限于篇幅主要侧重用例，可作为有 VTK、ITK 基础的用户的用户手册。此外，限于作者水平，书中难免存在错误，敬请读者批评指正。

本书由深圳市科技计划项目“医学图像处理算法平台（SY200806270054A）”和深圳职业技术学院重点项目“立体定向手术计划系统（2208K004CD）”资助。

作 者

2011 年 7 月

目 录

第 1 章 VTK 与 ITK 的安装与测试	1
1.1 获取安装资源	1
1.2 安装步骤	1
1.2.1 VTK 的安装	2
1.2.2 ITK 的安装	4
1.2.3 InsightApplication 的安装	6
1.3 测试安装结果	8
1.3.1 VTK 安装测试用例	8
1.3.2 ITK 安装测试用例	9
1.3.3 VTK 与 ITK 混合编程测试用例	10
1.3.4 InsightApplication 安装测试用例一	12
1.3.5 InsightApplication 安装测试用例二	15
第 2 章 VTK 数据操作	20
2.1 入门范例——渲染一个圆柱体	20
2.2 数组	23
2.3 图表	26
2.4 立方体	35
2.5 矩形网格	37
2.6 结构化网格	40
2.7 标记网格	43
第 3 章 VTK 图形与图像	48
3.1 图形接口	48
3.1.1 VTK 与 API 的集成应用	48
3.1.2 VTK 与 WindowsGUI 的集成——Dialog	52
3.1.3 VTK 与 WindowsGUI 的集成——SDI（单文档）	59
3.2 信息可视化	67
3.2.1 给图像添加带状边缘范例	67
3.2.2 给图像添加充满边缘	69
3.2.3 变色管	73
3.3 面绘制	76

3.3.1	提取皮肤	76
3.3.2	抽取皮肤和骨骼	79
3.3.3	三正交面	82
3.4	体绘制	86
3.4.1	绘制一个人头	86
3.4.2	从体数据中抽取一个切面	89
3.5	光照	94
3.5.1	环境光	94
3.5.2	漫反射	97
3.6	微件	101
3.6.1	气球小工具 (BalloonWidget)	101
3.6.2	滑块小工具 (SlideWidget)	103
第4章	ITK 数据表达	107
4.1	图像	107
4.1.1	创建一幅图像	107
4.1.2	从文件中读取图像	108
4.1.3	访问像素数据	109
4.1.4	定义原点和间距	111
4.1.5	RGB 图像	113
4.1.6	向量图像	115
4.2	点集	117
4.2.1	创建一个点集	117
4.2.2	获取储存的点	118
4.2.3	获取点中储存的数据	119
4.2.4	以 RGB 作为像素的点集	121
4.2.5	向量作为像素类型	123
4.2.6	协变矢量作为像素的点集	124
4.3	网格	126
4.3.1	创建网格	126
4.3.2	插入网格单元	128
4.3.3	管理单元中的数据	129
4.3.4	定制网格	131
4.3.5	拓扑学和 K-复合波	133
4.3.6	表达一个 PolyLine	140
4.3.7	简化网格的创建	143
4.3.8	通过单元迭代遍历网格信息	145
4.3.9	访问单元	150
4.4	容器	154

4.5 空间对象	157
4.5.1 层次结构	157
4.5.2 SpatialObject 树容器	159
4.5.3 变换	160
4.5.4 ArrowSpatialObject	162
4.5.5 BlobSpatialObject	163
4.5.6 CylinderSpatialObject	164
4.5.7 EllipseSpatialObject	165
4.5.8 GroupSpatialObject	166
4.5.9 GaussianSpatialObject	168
4.5.10 ImageSpatialObject	168
4.5.11 ImageMaskSpatialObject	170
4.5.12 LandmarkSpatialObject	172
4.5.13 LineSpatialObject	173
4.5.14 SurfaceSpatialObject	175
4.5.15 TubeSpatialObject	176
4.5.16 VesselTubeSpatialObject	178
4.5.17 DTITubeSpatialObject	180
4.5.18 SceneSpatialObject	182
4.5.19 读/写 SpatialObjects	183
4.5.20 通过 SpatialObjects 进行统计计算	184
第5章 滤波	186
5.1 阈值	186
5.1.1 二值门限处理 (用 VTK 进行图像显示)	186
5.1.2 门限处理概要	188
5.2 边缘检测	190
5.3 投射和亮度映射	192
5.3.1 线性映射	192
5.3.2 非线性映射	194
5.4 梯度	195
5.4.1 梯度强度	195
5.4.2 带滤波的梯度强度	197
5.4.3 不带滤波的导函数	199
5.5 邻域滤波	201
5.5.1 均值滤波器	201
5.5.2 中值滤波器	202
5.6 数学形态学	203
5.6.1 二值滤波	204

5.6.2	灰度尺滤波	206
5.7	投票滤波	208
5.7.1	二值中值滤波器	208
5.7.2	洞穴填充滤波器	210
5.7.3	迭代洞穴填充滤波器	212
5.8	平滑滤波器	213
5.8.1	模糊	214
5.8.2	局部模糊	217
5.8.3	彩色图像中的保留边缘平滑滤波	221
5.9	几何变换	225
5.9.1	翻转图像滤波器	225
5.9.2	重采样图像滤波器	226
5.9.3	重采样图像中的间距和原点	229
5.9.4	重采样图像滤波器的通用案例	233
5.9.5	图像旋转	236
5.9.6	图像旋转和缩放	238
5.9.7	使用形变场对图像进行重采样	241
5.10	提取图像信息	243
5.10.1	区域提取	243
5.10.2	切片提取	245
5.10.3	从向量图像中提取信息	247
第6章	ITK 配准	250
6.1	“Hello World” 配准	250
6.2	多形态配准	256
6.2.1	Viola-Wells 互信息	256
6.2.2	粗糙的互信息	263
6.3	居中变换	268
6.3.1	二维刚性配准	268
6.3.2	采用图像力矩初始化	275
6.3.3	2D 相似变换	281
6.3.4	中心放射变换	287
6.4	多分辨率配准	293
6.4.1	主要原则	293
6.4.2	参数调节	300
6.5	优化器	308
6.5.1	基于度量的配准	308
6.5.2	1 + 1 进化优化配准	314
6.5.3	空间对象的模糊配准	318

6.5.4 2D 刚性变换的相关配准	325
6.6 形变配准	330
6.6.1 范例一	330
6.6.2 范例二	337
6.6.3 范例三	341
6.7 虚拟变形配准	349
6.7.1 范例一	350
6.7.2 范例二	353
6.8 基于模型的配准	357
第7章 图像分割	366
7.1 区域生长	366
7.1.1 连接门限	366
7.1.2 邻域连接	369
7.1.3 置信连接	372
7.1.4 孤立连接	374
7.1.5 向量图像中的置信连接	376
7.2 基于分水岭的图像分割	379
7.2.1 ITK 分水岭滤波器	379
7.3 水平集分割	382
7.3.1 快速步进分割	383
7.3.2 形状检测分割	387
7.3.3 基于活动轮廓的分割	393
7.3.4 基于阈值的水平集分割	399
7.3.5 基于 Canny 算子的边缘水平集分割	403
7.3.6 基于拉普拉斯算子的水平集分割	406
7.4 混合法	409
7.4.1 模糊连接度和置信连接度	409
7.4.2 模糊连接度和 Voronoi 图分类	412
7.5 特征提取	414
7.5.1 提取直线	414
7.5.2 提取圆	418
第8章 统计	422
8.1 数据容器	422
8.1.1 样本类接口	422
8.1.2 样本适配器	424
8.1.3 直方图	425
8.1.4 子样本	427

8.1.5	成员样本	429
8.1.6	KD 树	431
8.2	统计的算法和函数	435
8.2.1	平均值和协方差	435
8.2.2	加权平均值和协方差	436
8.2.3	从样本列表到直方图的滤波器	439
8.2.4	从样本列表到直方图生成器	441
8.2.5	临近取样	442
8.2.6	样本分类	444
8.2.7	高斯概率分布函数	446
8.2.8	间距	446
8.2.9	判断规则	447
8.2.10	随机变量的生成	448
8.3	图像直方图	449
8.3.1	ITK 图像到图像直方图	449
8.3.2	ITK 图像到有色直方图	451
8.3.3	有色直方图的写入	452
8.4	图像信息理论	454
8.4.1	图像熵的计算	454
8.4.2	图像互信息的计算	456
8.5	分类	459
8.5.1	基于 K 均值聚类的 KD 树	459
8.5.2	K 均值分类	462

第 1 章 VTK 与 ITK 的安装与测试

1.1 获取安装资源

1. CMake 安装资源

CMake 是个跨平台的自动化建构软件，用于对 VTK 和 ITK 的编译，可在 <http://www.cmake.org/cmake/resources/software.html> 下载用于 Windows 安装的 `cmake - 2.8.3 - win32 - x86.exe` 版本。

2. VTK 安装资源

可从 VTK 的官网 <http://www.vtk.org/VTK/resources/software.html> 下载版本为 `vtk - 5.6.1 - win32.exe`（用于 Windows 的安装），`vtkdata - 5.6.1.zip` 和 `vtk - 5.6.1.zip` 的安装资源。

3. ITK 安装资源

可从 ITK 的官网 <http://www.itk.org/ITK/resources/software.html> 下载版本为 `InsightToolkit - 3.20.0.zip` 和 `InsightApplications - 3.20.0.zip` 的安装资源。

注：上述的安装都基于 Windows XP 系统，Visual Studio 2008 开发平台，其他操作系统上的安装按照下述步骤可能会出现问題。此外，如果要将上述所有软件全部安装在一个盘符下面，可能需要 30GB 的空间，安装耗时长，因此请读者提前合理分配您的计算机空间。

1.2 安装步骤

在安装和配置过程中，路径的设置非常重要，为了方便用户顺利安装，本节将主要相关软件安装在同一总目录（与 Visual studio 2008 目录相同）下的结构列了出来，如图 1-1 所示，后文的安装过程均将以此目录为参照。

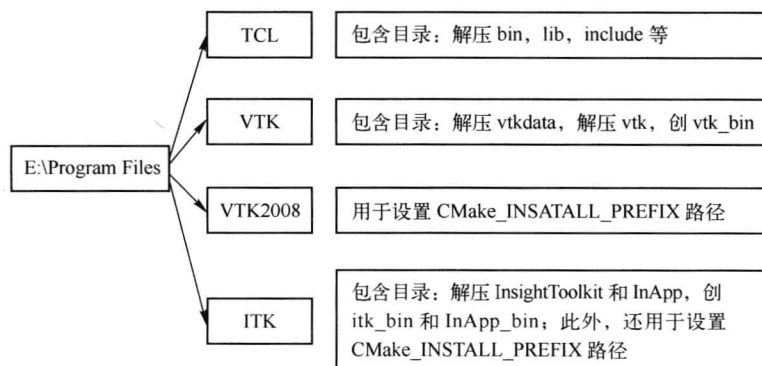


图 1-1 安装总目录

1.2.1 VTK 的安装

1. 创建 VTK 安装目录

首先在 E:\Program Files 下创建两个文件夹 VTK 和 VTK2008, 然后将 vtk-5.6.1-win32.exe 安装在 VTK2008 文件夹中, 并将 vtkdata-5.6.1.zip 和 vtk-5.6.1.zip 分别在 VTK 中解压为 vtkdata 和 vtk, 最后在 VTK 中创建文件 vtk_bin, 用于存放安装的二进制文件。VTK 内部结构如图 1-2 所示。



图 1-2 VTK 内部结构

2. CMake 的配置

运行安装在 E:\Program Files 下的 CMake, 其具体设置如图 1-3 所示。

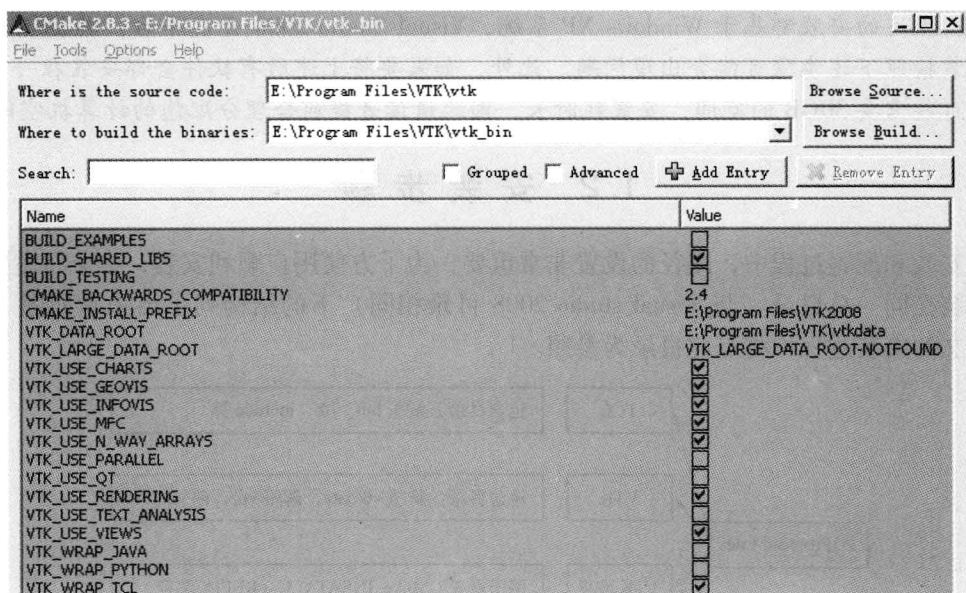


图 1-3 CMake 的具体设置

(1) BUILD_EXAMPLES——指明是否编译 VTK 中的例子。当它处于未激活状态时可以减少编译时间, 之后也可以再进行单独编译。此处置为 OFF。

(2) BUILD_SHARED_LIBS——指明是否创建共享库。如果激活, DLL 或共享库将会被创建, 这样后期生成的 VTK 应用程序将会比较小, 可节省空间; 如果未激活, 静态库将被

创建。默认设置是静态库。此处置为 ON。

(3) BUILD_TESTING——指明是否编译 VTK 中的测试代码。当它处于未激活状态时可以减少编译时间，之后也可以再进行单独编译。此处置为 OFF。

(4) CMAKE_INSTALL_PREFIX——VTK 的生成路径。安装后，源代码中的 .h 文件及编译生成的 .lib 文件和 .exe 程序将被分别复制到安装路径的不同子目录下，这将使 VTK 应用程序的工程设置更方便一些。其默认设置是 E:\Program Files\VTK\vtk_bin，笔者不建议使用默认设置，而建议将该路径设置为 E:\Program Files\VTK2008，这样便于后期的配置。

(5) VTK_DATA_ROOT——vtkdata 的解压路径。CMake 不会自动找到这个解压路径，需要手动设置，本书设为 E:\Program Files\vtkdata。

(6) VTK_USE_GUISUPPORT——指明是否支持 GUI（图 1-3 中未显示）。选择 VTK_USE_GUISUPPORT 后再次单击“Configure”，会产生两个新缓存项，激活其中一个缓存项 VTK_USE_MFC，就可以进行 VTK 与 MFC 的混合编程，可以编写类似于 VTK 自带的例子 Examples\GUI\Win32\vtkMFC 中的程序了。如果不选择此项将无法利用 MFC 类库，因此本项必选。

(7) VTK_WRAP_TCL——可以帮助调试一些基于 TCL 脚本的 VTK 实例，为了方便大家学习 VTK User's Guide 等案例，这里将其置为 ON。

首先单击“Configure”（图 1-3 中未显示出来），并将右上角的“Advanced”置为 ON，方便查看；再找到 VTK_USE_MFC，置其为 ON。此时会发现 TCL 的相关设置已经被设置，如图 1-4 所示，这就是将需要的资源放到同一目录下的优点。

TCL_INCLUDE_PATH	E:\Program Files\TCL\include
TCL_LIBRARY	E:\Program Files\TCL\lib\tcl85.lib
TCL_TCLSH	E:\Program Files\TCL\bin\tclsh.exe
TK_INCLUDE_PATH	E:\Program Files\TCL\include
TK_INTERNAL_PATH	E:\Program Files\VTK\vtk\Utilities...
TK_LIBRARY	E:\Program Files\TCL\lib\tk85.lib
TK_XLIB_PATH	E:\Program Files\TCL\include

图 1-4 TCL 路径的设置

继续单击“Configure”，当没有红色标识时，单击“Generate”（图 1-3 中未显示出来）就可以了。

3. 生成解决方案

用 Visual Studio 2008 打开 E:\Program Files\VTK\vtk\bin 下的 VTK.sln，然后打开“生成→生成解决方案”，结果如图 1-5 所示。如果没有错误，则打开同一目录中的 INSTALL.vcproj，在 Visual Studio 2008 的解决方案中找到 INSTALL 文件，右击该文件，选择“仅用于项目→仅生成 INSTALL”。

注：因为 VTK 需要生成的内容比较多，需要 1 个小时左右，如果中间出现错误（通常会在路径设置和 CMake 选项设置中出错），必须重新安装，故请读者严格按照上述目录结构设置路径，避免浪费时间。

4. VTK 的配置

(1) 打开“工具→选项→项目和解决方案→VC++”目录，设置以下内容。

- ① 包含文件：添加 E:\Program Files\VTK2008\include\vtk-5.6。
- ② 库文件：添加 E:\Program Files\VTK2008\lib\vtk-5.6。

(2) 打开“我的电脑→属性→高级→环境变量”，添加 E:\Program Files\VTK2008\bin; E:\Program Files\CMake2.8\bin; E:\Program Files\TCL\bin。

(3) 将 E:\Program Files\VTK2008\bin 或者 E:\Program Files\VTK\vtk_bin\bin\Debug 中的 .dll 文件复制到 C:\WINDOWS\system32 中。

注：如果没有设置包含文件、库文件和配置环境变量而运行程序，系统会提示无法连接 .h 文件或找不到 .lib 文件。同理，如果不将 .dll 文件复制到 system32 中，虽然通过了编译，但在运行过程中会弹出找不到 vtkIO.dll 或 vtkCommon.dll 文件等错误。

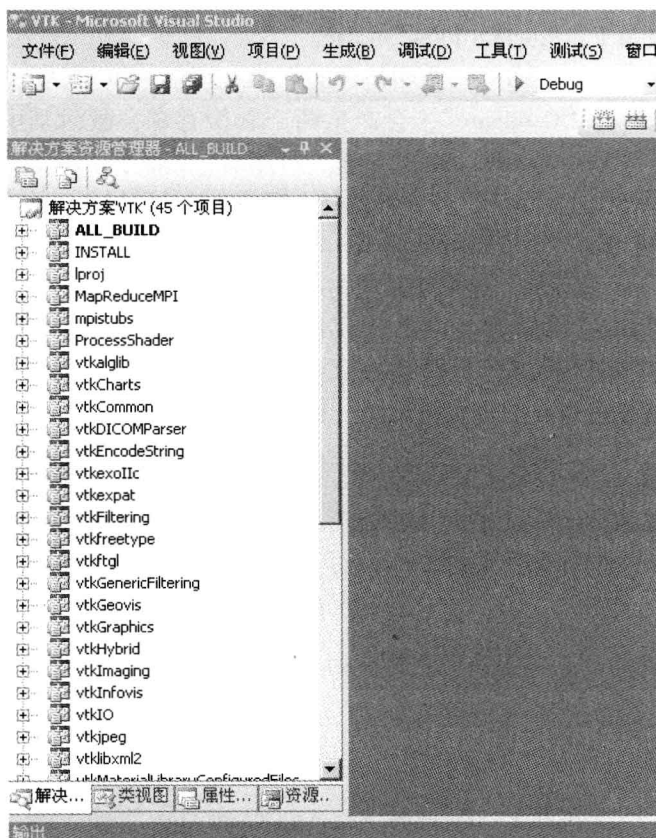


图 1-5 VTK 生成解决方案

1.2.2 ITK 的安装

1. 创建 ITK 安装目录

首先将 InsightToolkit - 3.20.0.zip 解压在 E:\Program Files\ITK 下，重命名为 InsightToolkit；然后在 E:\Program Files\ITK 中创建 ITK_bin 文件夹，同样用于保存编译的二进制文件。ITK 内部结构如图 1-6 所示。



图 1-6 ITK 内部结构

2. CMake 的配置

首先打开 CMake，对其进行设置，如图 1-7 所示。这里只需将 BUILD_SHARED_LIBS 置为 ON（可选），将 BUILD_EXAMPLES 置为 ON（可选），将 BUILD_TEST 置为 ON（可选），将 CMAKE_INSTALL_PREFIX 设置为 E:\Program Files\ITK 即可，其他可采用默认格式。

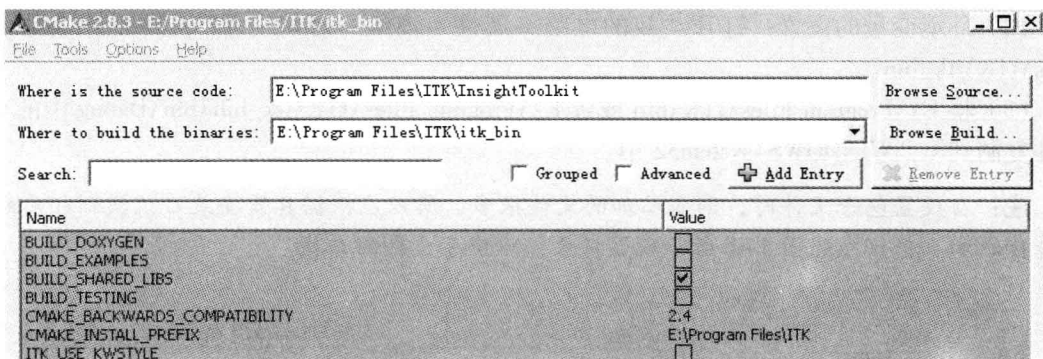


图 1-7 CMake 的具体设置

然后单击“Configure”进行设置（图 1-7 中未显示出来），其设置项比较多，不同的用户可以根据其需要而定。上述基本设置已可以满足一般用户的开发和学习。如果没有红色标识，则单击“Generate”（图 1-7 中未显示出来）即可。

3. 生成解决方案

打开 E:\Program Files\ITK\ITK_bin 中的 ITK.sln 文件，类似 VTK 的生成解决方案，打开“生成→生成解决方案”。如果没有错误，则打开 ITK_bin 里面的 INSTALL.vcproj 文件，在解决方案里面找到 Install 文件，单击鼠标右键，选择“仅用于项目→仅生成 INSTALL”；如果编译过程中有错误，则应该删除 ITK 里面的文件并重新安装。

4. ITK 的配置

（1）打开“工具→选项→项目和解决方案→VC++”目录，设置以下内容。

① 包含文件：添加下述文件（如图 1-8 所示）。

```
E:\Program Files\ITK\include\InsightToolkit
E:\Program Files\ITK\include\InsightToolkit\IO
E:\Program Files\ITK\include\InsightToolkit\Numerics\FEM
E:\Program Files\ITK\include\InsightToolkit\Numerics\NeuralNetworks
E:\Program Files\ITK\include\InsightToolkit\Numerics\Statistics
E:\Program Files\ITK\include\InsightToolkit\SpatialObject
E:\Program Files\ITK\include\InsightToolkit\Utilities
E:\Program Files\ITK\include\InsightToolkit\Utilities\vx\l\core
E:\Program Files\ITK\include\InsightToolkit\Utilities\vx\l\core\vn\l
E:\Program Files\ITK\include\InsightToolkit\Utilities\vx\l\core\vn\l\algo
E:\Program Files\ITK\include\InsightToolkit\Utilities\vx\l\vn\l
E:\Program Files\ITK\include\InsightToolkit\Algorithms
```

E:\Program Files\ITK\include\InsightToolkit\BasicFilters
 E:\Program Files\ITK\include\InsightToolkit\Common
 E:\Program Files\ITK\include\InsightToolkit\gdem\src
 E:\Program Files\ITK\include\InsightToolkit\Numerics

② 库文件：添加 E:\Program Files\ITK\lib\InsightToolkit。

(2) 环境变量的设置：打开“我的电脑→属性→高级→环境变量”，添加 E:\Program Files\ITK\itk_bin。

(3) 将 E:\Program Files\ITK\bin 或者 E:\Program Files\ITK\itk_bin\bin\Debug 中的 .dll 文件复制到 C:\WINDOWS\system32 中。

注：在设置包含文件时，因需添加的文件很多，所以应根据具体安装目录找到相应的文件进行添加。建议参照图 1-1 所示设置目录，以便于文件的查找。

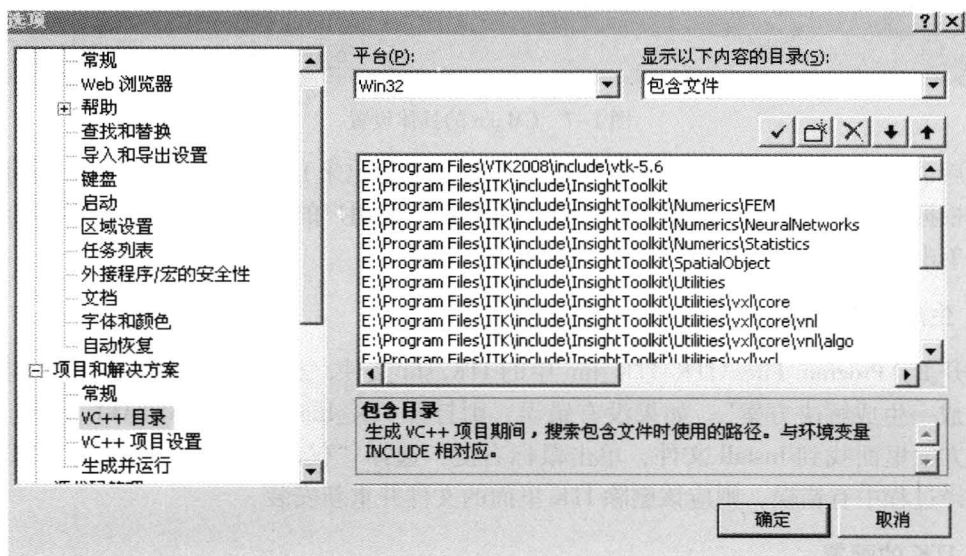


图 1-8 ITK 包含文件的设置

1.2.3 InsightApplication 的安装

为了更好地学习 VTK 和 ITK，这里将介绍 InsightApplication 的安装。很多人都认为只有将 InsightApplication 安装后才能将 VTK 和 ITK 结合起来使用，其实上述安装结束之后完全可以进行混合编程。这里介绍 InsightApplication 的安装，是为了利用 InsightApplication 安装生成的例子，以便于大家学习。

1. 创建安装目录

将 InsightApplications - 3.20.0.tar.gz 在 ITK 主文件夹中解压为 InApp，并在 ITK 主文件夹中新建文件夹 InApp_bin，如图 1-9 所示。

2. CMake 的配置

首先将“Where is the source code”和“Where to build the binaries”选项分别填写为“E: