

数字化魅力·图像e时空丛书

11001010100110101010

11101010010101001011010010



OpenGL

三维图形系统 开发与实用技术

>>> (基础编程篇)

编著 和平鸽工作室



清华大学出版社
重庆大学出版社

数字化魅力·图像e时空丛书

OpenGL 三维图形系统开发与实用技术

(基础编程篇)

编 著 和平鸽工作室

清华大学出版社
重庆大学出版社

内 容 简 介

本书是 OpenGL 三维图形系统开发与实用技术的基础编程篇,全书系统介绍了 OpenGL 的体系结构和进行 OpenGL 图形系统开发所必需的基础知识,如图元绘制、颜色指定、纹理映射、光照处理、双缓存动画和用户交互等。在本书附录部分列出了全部 OpenGL 库函数,方便读者查阅。

本书深入浅出、内容全面,既可供从事可视化系统、三维游戏、虚拟现实或其他图形应用程序开发的各大专院校学生、教师 and 研究人员参考,也可作为 OpenGL 三维图形编程的培训教程和其他相关专业人士和计算机爱好者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

OpenGL 三维图形系统开发与实用技术(基础编程篇)/

和平鸽工作室编著. —重庆:重庆大学出版社,2003.8

(数字化魅力·图像e时空丛书)

ISBN 7-5624-2930-8

I. O... II. 和... III. 图形软件,OpenGL

IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 038064 号

数字化魅力·图像e时空丛书

OpenGL 三维图形系统开发与实用技术 (基础编程篇)

编著 和平鸽工作室

责任编辑:陈 其 刘国良 曾 航 版式设计:陈 其

责任校对:任卓惠

责任印制:秦 梅

*

清华大学出版社

重庆大学出版社 出版发行

出版人:张鹤盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(市场营销部)

全国新华书店经销

重庆科情印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:17.5 字数:436 千

2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—5 000

ISBN 7-5624-2930-8/TP·417 定价:32.00 元(赠 1 CD)

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

前言

OpenGL(即开放性图形库 Open Graphics Library)是近几年发展起来的一个性能卓越的三维图形标准,它源于 SGI 公司为其图形工作站开发的 IRIS GL,在跨平台移植过程中发展成为 OpenGL。SGI 在 1992 年 7 月发布 1.0 版,后来成为工业标准。1995 年 12 月批准了 1.1 版本,最新版规范是 1999 年 5 月通过的 1.2.1 版。OpenGL 作为一个性能优越的图形应用程序设计界面(API),具有广泛的可移植性,它独立于硬件系统、操作系统和窗口系统。OpenGL 适用于广泛的计算机环境,从个人计算机到工作站和超级计算机,用户都可以利用 OpenGL 创建漂亮的三维图形。由于许多在计算机界具有领导地位的计算机公司纷纷采用 OpenGL 作为三维图形应用程序设计界面,因此,OpenGL 是从事三维图形开发工作的技术人员所必须掌握的开发工具。

全书分基础编程篇和实用技术篇两册,主要介绍如何利用 OpenGL 开发三维图形应用系统。基础编程篇对 OpenGL 的体系结构和基础知识进行了详细地介绍,实用技术篇着眼于实际的工程应用,介绍了一系列的实用技术。

《OpenGL 图形系统开发与实用技术(基础编程篇)》共由 8 章组成,全面系统地介绍了进行 OpenGL 编程所需的基础知识,如三维基本图元的绘制、坐标变换、颜色、光照、纹理映射、动画和用户交互技术等。在附录中列出了所有的 OpenGL 库函数,便于读者在学习过程中查阅。

《OpenGL 图形系统开发与实用技术(实用技术篇)》共由 10 章组成,介绍了一些具体的利用 OpenGL 进行三维图形系统开发的实用技术,如外部三维模型数据的读入、真实感地形的模拟、自然环境的模拟、碰撞检测、LOD 技术和 OpenGL 图形系统后处理技术等。在最后两章中介绍了两个 OpenGL 开发的综合实例,一个是三维台球游戏,另一个是俄罗斯方块,读者可以分析其中的代码,提高图形系统的开发能力。

为了便于读者使用,在书后均附有包含该书全部应用实例的源代码光盘。全部程序在 Visual C++ 6.0 中编译通过,运行环境为 Windows 98 和 Windows 2000。读者可以充分利用其中的代码,有些只需稍许改动便可应用到自己的系统中。

拓智文化 CG 实验室网站 www.cglab.info 上有关于本书和 OpenGL 的精彩内容版块,读者可以访问

这个网站来探讨交流有关问题!

本书由和平鸽工作室全体成员齐心协力编写完成,是大家精诚团结的结果。感谢对本书的出版给予大力支持的重庆拓智文化发展有限公司和重庆大学出版社,以及其他提供支持的所有老师、朋友。

和平鸽工作室

2003 年 3 月

目 录

第 1 章 OpenGL 基础知识	1
1.1 OpenGL 概述	2
1.1.1 直观的三维图形开发环境	2
1.1.2 三维图形开发标准	2
1.1.3 OpenGL 基本功能与操作	2
1.1.4 OpenGL 的体系结构	5
1.1.5 创建 OpenGL 控制台应用程序框架	5
1.1.6 MFC 环境下 OpenGL 单文档应用程序 框架	9
1.2 OpenGL 图形的实现方式	16
1.2.1 设备上下文 DC 与渲染上下文 RC	16
1.2.2 OpenGL 像素格式设置	18
1.2.3 OpenGL 图形处理流程	21
1.2.4 OpenGL 图形绘制方式	23
1.2.5 OpenGL 程序的运行方式	24
1.3 OpenGL 图形开发库	25
1.3.1 开发库的组成	25
1.3.2 基本数据类型	25
1.3.3 OpenGL 库函数命名规则	26
1.4 基于 OpenGL 的高层图形库	27
1.4.1 IRIS Performer	27
1.4.2 Vega	28
1.4.3 VTree	30
1.5 OpenGL 应用程序框架	31
第 2 章 OpenGL 建模技术	35
2.1 基本图元及规则物体绘制	36
2.1.1 图形显示控制	36
2.1.2 点的绘制	42
2.1.3 线段的绘制	43
2.1.4 多边形的绘制	45
2.1.5 规则三维物体绘制函数	50

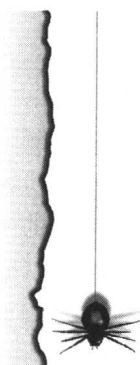
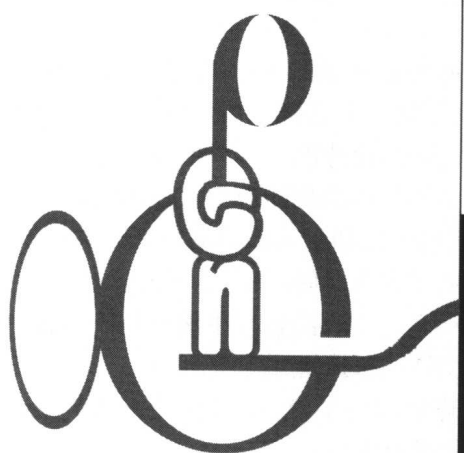
2.1.6 实例介绍	52
2.2 曲线与曲面绘制	62
2.2.1 曲线的基本理论	63
2.2.2 样条曲线的绘制	65
2.2.3 样条曲面的绘制	69
2.2.4 NURBS 曲线和曲面绘制	75
2.2.5 二次曲面	85
2.3 显示列表	87
2.3.1 什么是显示列表	87
2.3.2 显示列表的创建	89
2.3.3 显示列表的执行	90
2.3.4 多重显示列表	90
2.3.5 显示列表索引	92
2.3.6 显示列表的嵌套	93
2.3.7 实例介绍	94
2.4 位图、图像与文本绘制	95
2.4.1 位图	96
2.4.2 图像	103
2.4.3 文本	108
第3章 坐标变换	115
3.1 从三维图形到二维图像	116
3.1.1 三维图形的输出过程	116
3.1.2 坐标系与坐标变换	116
3.1.3 矩阵操作	117
3.2 几何变换	120
3.2.1 平移变换	121
3.2.2 旋转变换	122
3.2.3 缩放变换	123
3.2.4 变换次序	124
3.2.5 实例介绍	124
3.3 投影变换	126
3.3.1 透视投影	126
3.3.2 正交投影	129
3.4 视口变换	130
3.4.1 定义视口	130
3.4.2 变换 z 坐标	131
3.5 附加裁剪面	132
3.6 矩阵堆栈	135

第4章 OpenGL 颜色	142
4.1 计算机中的颜色	143
4.1.1 颜色的表示	143
4.1.2 RGB 颜色模型概述	144
4.2 颜色模式与指定颜色	145
4.2.1 RGBA 颜色模式	145
4.2.2 颜色索引模式	147
4.3 着色模式	150
4.3.1 着色模式	150
第5章 光照与材质处理	153
5.1 简化光照模型	154
5.1.1 光照模型概述	154
5.1.2 光照分量	154
5.1.3 法向量	155
5.2 创建光源	157
5.2.1 定义一个简单光源	157
5.2.2 启用光照和激活光源	158
5.2.3 光源属性	158
5.3 复杂光照模型	163
5.3.1 全局环境光	164
5.3.2 近似点和无穷远视点	164
5.3.3 双面光照	165
5.4 材质	168
5.4.1 材质的 RGB 值与光源的 RGB 值	168
5.4.2 材质定义	168
5.4.3 材质属性	170
5.4.4 改变材质	176
第6章 纹理映射技术	180
6.1 纹理的定义	181
6.1.1 一维纹理映射的定义	181
6.1.2 二维纹理映射的定义	183
6.2 纹理数据的获取	185
6.2.1 直接创建法	186
6.2.2 读取外部文件	186
6.3 纹理坐标	186
6.3.1 纹理坐标的指定	186
6.3.2 纹理坐标的自动计算	188
6.4 纹理的控制	189
6.4.1 缩小与放大滤波	190

6.4.2 纹理重复和缩限	192
6.5 纹理的映射方式	195
6.6 多重纹理	197
第7章 帧缓存技术与动画	202
7.1 OpenGL 中的各种缓存	203
7.1.1 颜色缓存	203
7.1.2 深度缓存	203
7.1.3 模板缓存	206
7.1.4 累积缓存	207
7.2 缓存操作技术	209
7.2.1 清除缓存	209
7.2.2 选择绘图颜色缓存	210
7.2.3 屏蔽缓存	211
7.3 测试操作	213
7.3.1 裁剪测试	213
7.3.2 Alpha 测试	213
7.3.3 模板测试	214
7.3.4 深度测试	216
7.4 双缓存动画	217
7.5 特殊效果的实现	219
7.5.1 融合	220
7.5.2 反走样	224
7.5.3 雾效	230
第8章 OpenGL 图形交互技术	236
8.1 选择	237
8.1.1 选择模式操作步骤	237
8.1.2 名字堆栈	239
8.1.3 命中记录	240
8.1.4 拾取	240
8.2 反馈	244
8.2.1 反馈模式操作步骤	244
8.2.2 反馈数组	245
附录	249
附录 A OpenGL 分类函数速查	250
附录 B OpenGL ARB 扩展函数速查	259
附录 C OpenGL GLU 库函数速查	262
附录 D OpenGL GLX 函数速查	266
附录 E OpenGL AUX 库函数速查	268
附录 F OpenGL Win32 扩展函数速查	270

OpenGL 基础知识

第一章



1.1 OpenGL 概述

科学计算可视化、计算机动画和虚拟现实是近年来在计算机图形学领域内三大活跃的发展方向,它们的技术核心都是三维真实感图形。从丝丝入扣的机械零件设计、惊心动魄的虚拟战场演习,到如同身受的 3D 游戏,各种生动而精妙的图形应用使人目不暇接,计算机似乎为人们打开了一个五彩缤纷的第四维空间,而 OpenGL 正是这个“缤纷世界”的构造者之一。

1.1.1 直观的三维图形开发环境

OpenGL 实际上是一种图形与硬件的接口。与其他图形程序设计接口不同,OpenGL 提供了十分清晰明了的图形函数,因此初学者也能利用 OpenGL 的图形处理能力和 1 670 万种色彩的调色板很快设计出三维图形及三维交互软件。OpenGL 强大的图形函数不要求开发者把三维物体模型的数据写成固定的数据格式,开发者不但可以直接使用自己的数据,而且可以利用其他不同格式的数据源,如 DXF 格式的文件等。这种灵活性极大地节省了开发时间,提高了开发效率。长期以来,从事三维图形系统开发的技术人员都不得不在自己的程序中编写矩阵变换、外部设备访问的函数,使用 OpenGL 就大大简化了三维图形源程序的编写。

这种直观的三维图形开发环境体现了 OpenGL 的技术优势,这也是许多三维图形系统开发者热衷于 OpenGL 的缘故所在。

1.1.2 三维图形开发标准

在计算机发展初期,人们就开始从事计算机图形的开发,但直到 20 世纪 80 年代末 90 年代初,三维图形才迅速发展起来。于是各种三维图形工具软件包相继推出,如 GL、RenderMan 等。这些三维图形工具软件包有些侧重于使用方便,有些侧重于绘制效果或与应用程序的连接,但是没有一种软件包能在交互式三维图形建模能力和编程方便性上与 OpenGL 相媲美。

一个完整的窗口系统的 OpenGL 图形处理系统的结构为:最底层是图形硬件,第二层为操作系统,第三层为窗口系统,第四层为 OpenGL,第五层为应用软件,如图 1.1 所示。OpenGL 是网络透明的,在客户机/服务器体系结构中,允许本地或远程调用 OpenGL。OpenGL 在 X 窗口、Windows 或其他窗口系统下都可以以一个独立的图形窗口出现。

1.1.3 OpenGL 基本功能与操作

OpenGL 是一套图形标准,它严格按照计算机图形学原理设计而成,符合光学和视觉原理,非常适合可视化仿真系统。

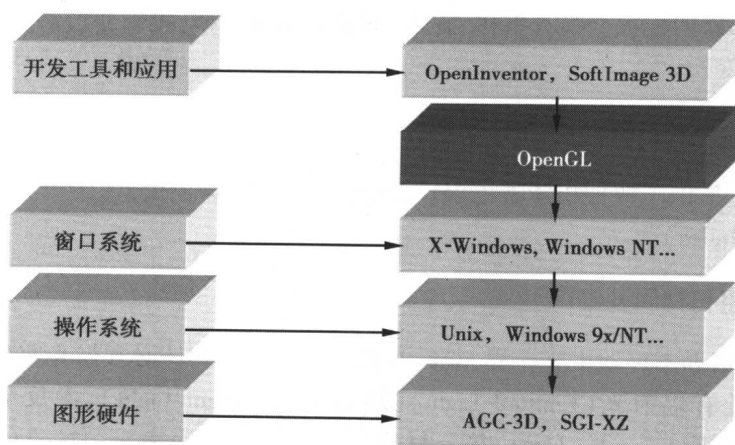


图 1.1 OpenGL 运行平台和结构

首先,在 OpenGL 中允许视景对象用图形方式表达,如,由物体表面顶点坐标集合构成的几何模型。这类图形数据含有丰富的几何信息,得到的仿真图像能充分表达出其形体特征;而且在 OpenGL 中有针对三维坐标表示的顶点的几何变换,通过该变换可使顶点在三维空间内进行平移和旋转,对于由顶点的集合表达的物体则可以实现其在空间的各种运动。

其次,OpenGL 通过光照处理能表达出物体的三维特性,其光照模型是整体光照模型,它把顶点到光源的距离、顶点到光源的方向向量以及顶点到视点的方向向量等参数代入该模型,计算顶点颜色。因此,可视化仿真图像的颜色体现着物体与视点以及光源之间的空间位置关系,具有很强的三维效果。

另外,为弥补图形方法难于生成复杂自然背景的不足,OpenGL 提供了对图像数据的使用方法,即直接对图像数据读、写和拷贝,或者把图像数据定义为纹理与图形方法结合在一起生成视景图像以增强效果。为增强计算机系统三维图形的运算能力,有关厂家已研制出了专门对 OpenGL 进行加速的三维图形加速卡,其效果可与图形工作站相媲美。

OpenGL 实质上是一个开放的三维图形软件包,它独立于窗口系统和操作系统,能十分方便地在各平台之间移植,它不但具有开放性、独立性和兼容性三大特点,还提供了以下基本操作和功能:

(1) 建模功能

真实世界里的任何物体都可以在计算机中用简单的点、线、多边形来描述。OpenGL 图形库除了提供基本的点、线、多边形的绘制函数外,还提供了比较复杂的三维物体(如球、锥体、多面体、茶壶等)以及复杂曲线和曲面(如 Bezier、Nurbs 等曲线或曲面)绘制函数,从而可以方便地构建虚拟三维世界。

(2) 变换功能

可以说,无论多复杂的图形都是由基本图元组成并经过一系列变换来实现的。

OpenGL 图形库的模型变换有平移、旋转、缩放等多种变换,投影变换有透视投影和正交投影两种变换。

(3) 颜色模式设置

OpenGL 提供了两种物体着色模式,一种是 RGBA 颜色模式,另一种是颜色索引模式(Color Index)。

(4) 光照和材质设置

正如自然界不可缺少光一样,绘制有真实感的三维物体必须做光照处理。OpenGL 光源属性有辐射光(Emitted Light)、环境光(Ambient Light)、漫反射光(Diffuse Light)和镜面光(Specular Light)等。材质是用光反射率来表示。场景(Scene)中物体最终反映到人眼的颜色是光的 RGB 分量与材质的 RGB 分量反射率相乘后形成的颜色。

(5) 反走样

在 OpenGL 绘制图形过程中,由于使用的是位图,所以绘制出的图像的边缘会出现锯齿形状,称为走样。为了消除这种缺陷,OpenGL 提供了点、线、多边形的反走样技术。

(6) 融合

为了使三维图形更加具有真实感,经常需要处理半透明或透明的物体图像,这就需要用到融合技术。

(7) 雾化

正如自然界中存在烟雾一样,OpenGL 提供了“fog”的基本操作来达到对场景进行雾化的效果。

(8) 位图显示和图像增强

在图形绘制过程中,位图和图像是非常重要的一个方面。OpenGL 提供了一系列函数来实现位图和图像的操作。

(9) 纹理映射

在计算机图形学中,把包含颜色、alpha 值、亮度等数据的矩形数组称为纹理。而纹理映射可以理解为将纹理粘贴在所绘制的三维模型表面,以使三维图形显得更生动。

(10) 双缓存动画

出色的动画效果是 OpenGL 的一大特色,OpenGL 提供了双缓存区技术来实现动画绘制。双缓存即前台缓存和后台缓存,后台缓存计算场景、生成动画,前台缓存显示后台缓存已画好的画面。



注意

OpenGL 并没有提供构建复杂三维模型(如飞机、坦克等)的高级函数,因此只能通过基本的几何图元——点、线及多边形组合来建立复杂的三维模型。目前,有许多优秀的三维图形软件(如 3DMAX、Maya 等)可以较方便地建立物体模型,但又难以对建立的模型进行控制,若把这些模型转化为 OpenGL 程序,则可随心所欲地控制这些模型来制作三维动画,实现仿真数据的可视化和虚拟现实。

1.1.4 OpenGL 的体系结构

由于 OpenGL 是一个与平台无关的三维图形接口,操作系统必须提供像素格式管理和渲染环境管理。下面以 Windows NT 操作系统为例具体介绍 OpenGL 运行的体系结构。

OpenGL 在 Windows NT 上的实现是基于 Client/Server 模式的,应用程序发出 OpenGL 命令,由动态链接库 OpenGL32.DLL 接收和打包后,发送到服务器端的 WINSRV.DLL,然后由它通过 DDI 层发往视频显示驱动程序。如果系统安装了硬件加速器,则由硬件相关的 DDI 来处理。

OpenGL/NT 的体系结构图如图 1.2 所示。从程序员的角度看,在编写基于 Win-

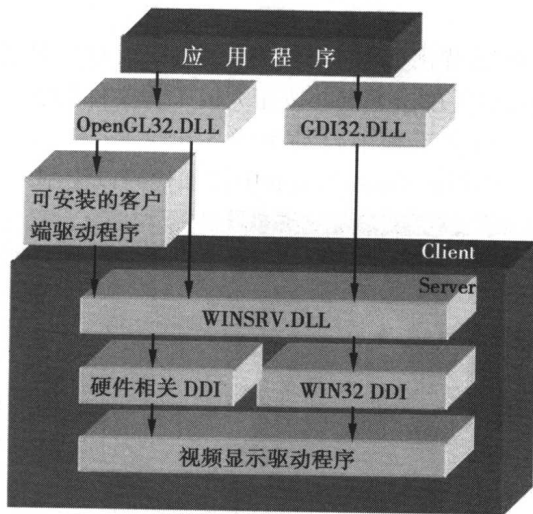


图 1.2 OpenGL 在 NT 平台上的体系结构

dows 的 OpenGL 应用程序之前必须清除两个障碍,一个是 OpenGL 本身是一个复杂的系统,这可以通过简化的 OpenGL 辅助库函数来学习和掌握;另一个是必须清楚地了解和掌握 Windows 与 OpenGL 的接口。

1.1.5 创建 OpenGL 控制台应用程序框架

在 Visual C++ 6.0 开发环境下,创建一个 OpenGL 控制台应用程序的主要步骤

如下:

①创建一个新的工程。启动 VC6.0,从【File】菜单中选择【New...】选项,将弹出如图 1.3 所示的 New 对话框,在该对话框中选择 Project 标签,进一步选择“Win32 Console Application”新建一个控制台应用程序的工程,名称为 Console,选择文件保存路径。

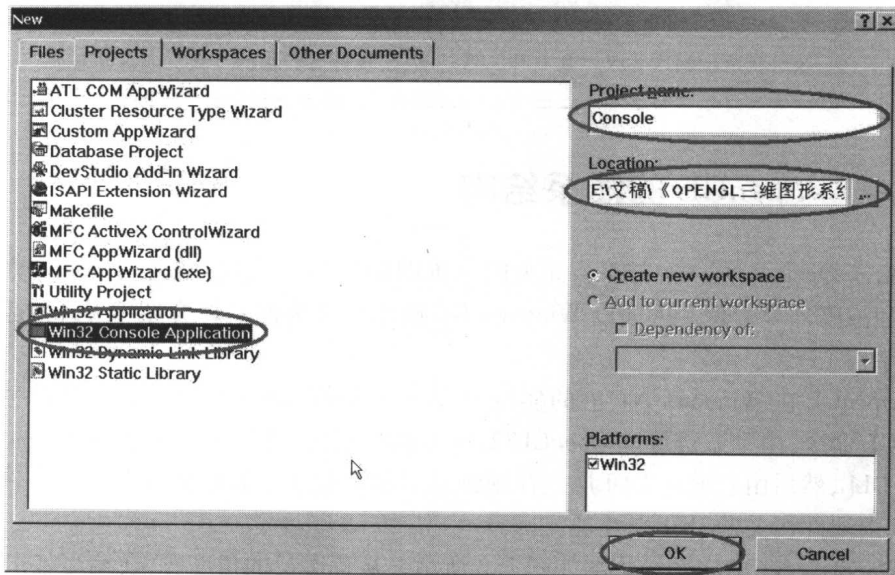


图 1.3 创建一个新的工程

②单击“OK”按钮,将弹出如图 1.4 所示的对话框,在该对话框中选择“A Simple Application”工程类型,然后单击 Finish 按钮完成工程文件的创建。

6

完成上述步骤后,将在工程中自动生成 3 个文件: Console. cpp, StdAfx. cpp 和 StdAfx. h。后面将介绍如何在 Console. cpp 中添加代码以绘制 OpenGL 图形。

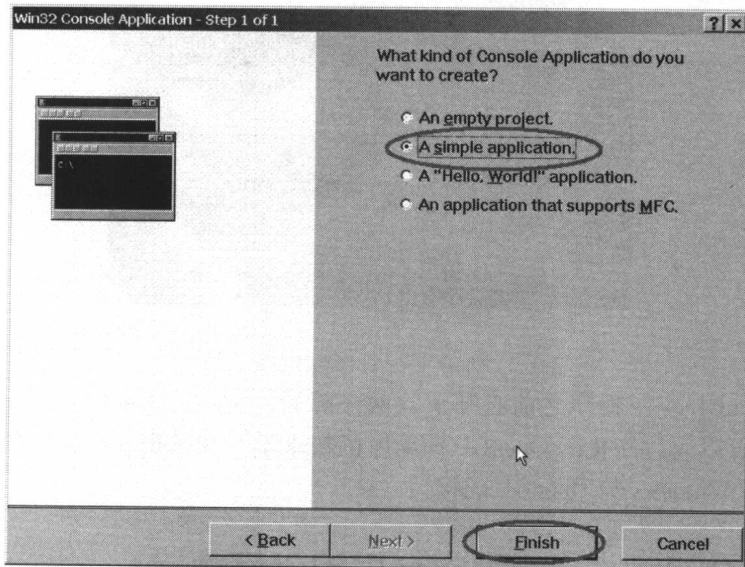


图 1.4 选择工程类型

③添加包含文件和库文件路径。从【Tools】菜单中选择【Options...】选项,将弹

出 Options 对话框,如图 1.5 所示。在该对话框中选择 Directories 标签,设置包含文件和库文件的路径。在正常情况下,OpenGL 的包含文件和库文件已经包含在 VC6 中,路径也已经设置正确,如果用户需要另外添加其他的包含文件和库文件,可以直接将文件拷贝到对应的目录中或者添加新的目录,然后单击“OK”按钮。

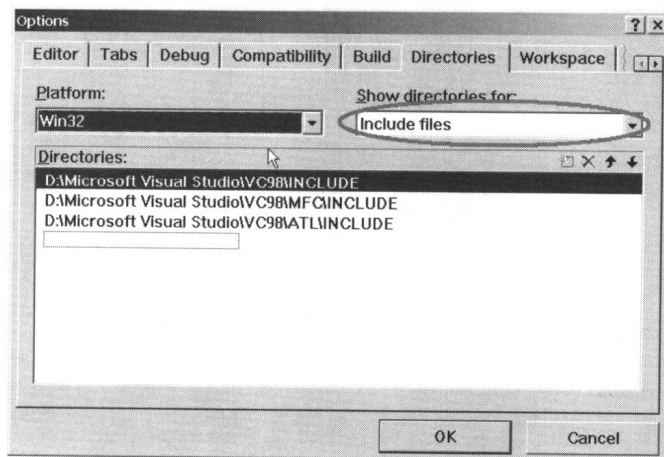


图 1.5 添加包含文件和库文件路径

④添加 OpenGL 库。从【Project】菜单中选择【Settings...】选项,将弹出 Project Settings 对话框,如图 1.6 所示。在该对话框中选择 Link 标签,在“Object/library Module”编辑框中加入“opengl32.lib glu32.lib glaux.lib”,单击“OK”按钮。

至此,OpenGL 控制台应用程序框架已经基本完成,下面将在这个框架中加入具体的代码,绘制出一个简单的 OpenGL 图形。

⑤在文件 Console.cpp 中添加如下的源代码(阴影部分,下同):

```
// Console.cpp : Defines the entry point for the console application.
#include "stdafx.h"
#pragma warning(disable : 4305)
#include <windows.h>
// 添加 OpenGL 头文件
#include <GL/gl.h>
#include <GL/glu.h>
#include <GL/glaux.h>
// 定义用户函数及回调函数
void myInit(void);
void CALLBACK myReshape(GLsizei w, GLsizei h);
void CALLBACK myDisplay(void);
void myInit(void)
{
    glClearColor(0.0,0.0,0.0,0.0); // 背景清除颜色
```

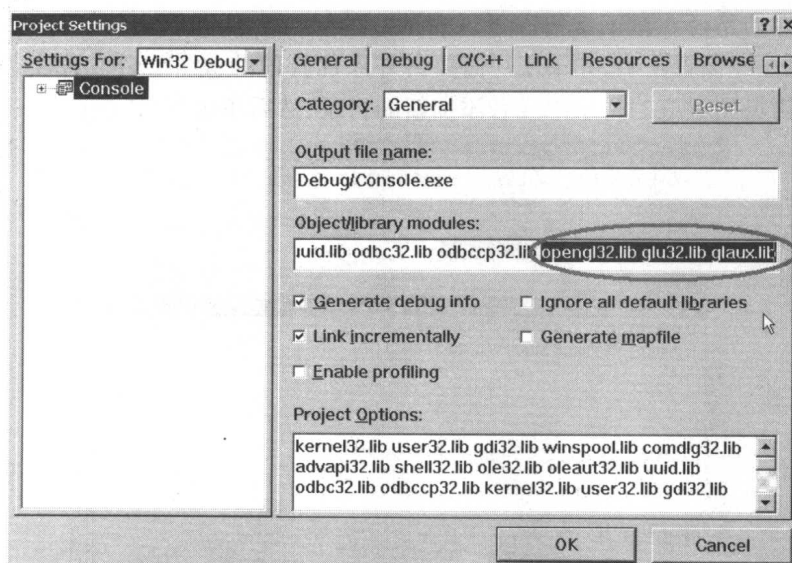


图 1.6 添加 OpenGL 库

```

glShadeModel( GL_FLAT);           // 图形绘制模式
}

void CALLBACK myDisplay( void)
{
    glClear( GL_COLOR_BUFFER_BIT);
    glColor4f(0.2,0.6,1.0,1.0);    // 图形绘制颜色
    glRotatef( 60.0,1.0,1.0,1.0);  // 设置旋转
    auxWireSphere(1.0);            // 绘制线框模式的球
    glFlush();                     // 完成绘制
}

void CALLBACK myReshape( GLsizei w, GLsizei h)
{
    glViewport(0,0,w,h); // 设置窗口缩放时的视口变换
}

```



试一试

读者可以修改 `glColor4f()` 函数的参数来改变图形绘制颜色, 更换 `auxWireSphere()` 函数来改变绘制的实体, 如四面体、柱体和锥体等。