



万水计算机编程技术与应用系列



# OpenGL

## 高级编程与可视化系统开发

高级编程篇

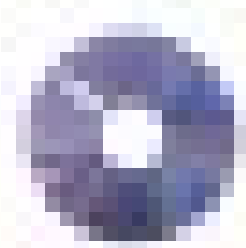
OpenGL

Open Graphics Library

和平鸽工作室 编著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn



# OpenGL

跨平台与跨架构的图形开发



OpenGL

OpenGL

第 1 章 OpenGL 入门

万水计算机编程技术与应用系列

# OpenGL 高级编程与可视化系统开发 (高级编程篇)

和平鸽工作室 编著

中国水利水电出版社

## 内 容 提 要

OpenGL 是最近几年发展起来的性能优越的开放式三维图形标准,利用它可以创作出具有照片质量的、独立于窗口系统、操作系统和硬件平台的三维彩色图形和动画。目前,OpenGL 在可视化系统、虚拟现实系统和三维游戏方面得到了广泛地应用。

本书主要介绍如何利用 OpenGL 图形库开发可视化应用系统,并以实例的方式讲述一些特殊可视化效果的编程方法,包括地形、云彩、海浪、烟雾、粒子系统、飞行器尾焰等,掌握这些特效的制作对于开发高逼真度图形非常重要。

本书深入浅出、内容广泛,可供从事可视化系统开发、三维游戏开发或其他图形应用程序开发的各大专院校学生、教员和研究人员参考,也可作为 OpenGL 三维图形编程的培训教程或其他相关专业人士及计算机爱好者阅读。

## 图书在版编目(CIP)数据

OpenGL 高级编程与可视化系统开发·高级编程篇 / 和平鸽工作室编著. — 北京:中国水利水电出版社,2002

(万水计算机编程技术与应用系列)

ISBN 7-5084-1310-5

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(2002)第 094582 号

书 名	OpenGL 高级编程与可视化系统开发(高级编程篇)
作 者	和平鸽工作室 编著
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@public3.bta.net.cn(万水) sale@waterpub.com.cn 电话:(010) 68359286(万水)、63202266(总机)、68331835(发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京市天竺颖华印刷厂
规 格	787×1000 毫米 16 开本 32 印张 707 千字
版 次	2003 年 1 月第一版 2003 年 1 月北京第一次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	62.00 元(含 1CD)

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

科学可视化、计算机动画和虚拟现实是近年来在计算机图形学领域内的三大热门研究方向，它们的技术核心都是三维真实感图形。当前，三维图形在军事、航天、航空、医学、地质勘探、三维游戏和工业 CAD 设计等方面有着十分广泛地应用。

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 公司在 1992 年 7 月发布 1.0 版，后成为工业标准。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。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。

由于 OpenGL 能实现高性能的三维图形功能，这使得科学计算可视化、仿真可视化技术发展迅速。可视化系统不仅可以帮助技术人员形象直观地查看仿真结果，而且在一定程度上可以提高设计水平，减少错误的发生。因此计算机图形技术将在各行业、各个领域内得到越来越广泛地应用。有人说 20 世纪是计算机多媒体技术发展的世纪，21 世纪将是虚拟现实飞速发展的世纪，因此，积极推动计算机图形领域的发展将对于我国的经济建设、科学研究具有重要的现实意义。

本套丛书主要介绍如何利用 OpenGL 开发可视化应用系统，它定位于 OpenGL 的高级编程和可视化系统开发，在书中并不对 VC++ 开发和 OpenGL 的基础知识进行讲解。因此要求阅读本套丛书的读者必须具有使用 VC++ 和 OpenGL 进行编程的基础知识。

《OpenGL 高级编程与可视化系统开发（高级编程篇）》共由 15 章组成。第 1 章至第 2 章简要地介绍了 OpenGL 与图形可视化的关系以及 OpenGL 编程的基础知识；第 3 章介绍了利用 OpenGL 读取各种外部三维模型的方法，如 3DS、OBJ、WRL 等；第 4 章至第 7 章介绍了三维地形、蓝天白云、星空和水的波动的模拟；第 8 章介绍了粒子系统的编程方法。第 9 章至第 10 章介绍了碰撞检测编程、LOD 编程技术；第 11 章至第 15 章介绍了一些特殊效果的编程方法，如爆炸效果、霓虹效果、对象捕捉和自然现象的编程。

《OpenGL 高级编程与可视化系统开发（系统开发篇）》共由 16 章组成。第 1 章至第 11 章全面系统地介绍了一个三维场景编辑软件系统的编程实现过程，该软件系统结构清晰、功能齐全、可扩充性强，对于开发应用系统具有很高的借鉴价值；第 12 章介绍了一个三维空战游

戏的开发过程；第 13 章介绍了一个利用 OpenGL 开发的游戏引擎和一个利用该引擎开发的三维射击游戏“恐怖之战”；第 14 章至第 16 章介绍了三个 OpenGL 开发的可视化仿真实例，包括导弹飞行试验系统、飞行漫游系统、飞机飞行动力学系统。

为了便于用户使用，在书后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 或 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，这些都是笔者多年的积累，以供读者参考。

本书由和平鸽工作室全体成员齐心协力编写完成，是大家精诚团结才使本书顺利完成。感谢对本书的出版提供支持的所有老师、编辑。由于水平有限，书中难免存在疏漏和错误之处，敬请各位读者朋友批评指正。

和平鸽工作室  
2002 年 5 月

# 目 录

前言

<b>第 1 章 OpenGL 与图形可视化概述</b> .....	1
1.1 图形可视化概述.....	1
1.2 OpenGL 基本特点.....	3
1.3 OpenGL 图形的实现.....	5
1.3.1 OpenGL 体系结构.....	5
1.3.2 渲染上下文 (RC) .....	7
1.3.3 调色板的使用.....	9
1.3.4 像素格式设置.....	10
1.3.5 OpenGL 处理流程与图形绘制方式.....	14
1.4 OpenGL 开发库的基本组成.....	15
1.4.1 OpenGL 开发组件.....	15
1.4.2 OpenGL 函数.....	16
1.5 OpenGL 程序运行方式.....	17
<b>第 2 章 OpenGL 编程基础</b> .....	18
2.1 OpenGL 绘图基本知识.....	18
2.1.1 基本数据类型.....	18
2.1.2 图形绘制.....	19
2.1.3 显示列表.....	20
2.1.4 OpenGL 颜色.....	22
2.1.5 Open 光照模型.....	23
2.1.6 材质设置.....	24
2.1.7 纹理映射.....	25
2.1.8 选择与反馈.....	27
2.1.9 帧缓存与动画.....	28
2.2 基于对话框的 OpenGL 图形程序的基本框架.....	30
2.2.1 程序说明.....	30
2.2.2 理论基础.....	30
2.2.3 编程步骤.....	31

2.2.4	加入到 AppWizard .....	45
2.3	基于单文档的 OpenGL 图形程序的基本框架 .....	47
2.3.1	程序说明 .....	47
2.3.2	理论基础 .....	48
2.3.3	编程步骤 .....	48
2.3.4	加入到 AppWizard .....	57
2.4	基于多文档的 OpenGL 图形程序的基本框架 .....	57
2.4.1	程序说明 .....	57
2.4.2	理论基础 .....	57
2.4.3	编程步骤 .....	58
2.4.4	加入到 AppWizard .....	73
<b>第 3 章</b>	<b>外部三维图形文件的输入与处理 .....</b>	<b>74</b>
3.1	3DS 文件格式 .....	74
3.1.1	3DS 文件格式简介 .....	74
3.1.2	3D 编辑程序块 .....	76
3.1.3	关键帧块 .....	81
3.2	3DS 文件输入程序介绍 .....	82
3.2.1	程序说明 .....	82
3.2.2	理论基础 .....	83
3.2.3	编程步骤 .....	85
3.3	OBJ 文件格式介绍 .....	124
3.4	OBJ 文件输入程序介绍 .....	129
3.4.1	程序说明 .....	129
3.4.2	理论基础 .....	130
3.4.3	编程步骤 .....	131
3.5	其他格式 3D 文件的处理方法 .....	155
3.5.1	各种格式的 3D 文件的相互转换 .....	156
3.5.2	其他输入方法介绍 .....	157
<b>第 4 章</b>	<b>三维地形的模拟 .....</b>	<b>164</b>
4.1	地形模拟概述 .....	164
4.2	编程实例一 .....	165
4.2.1	程序说明 .....	165
4.2.2	理论基础 .....	166
4.2.3	编程步骤 .....	166



4.3	编程实例二	182
4.3.1	程序说明	182
4.3.2	理论基础	183
4.3.3	编程步骤	185
<b>第5章</b>	<b>蓝天白云的模拟</b>	<b>191</b>
5.1	模拟实例一	191
5.1.1	程序说明	191
5.1.2	理论基础	192
5.1.3	编程步骤	193
5.2	模拟实例二	198
5.2.1	程序说明	198
5.2.2	理论基础	198
5.2.3	编程步骤	203
<b>第6章</b>	<b>星空的模拟</b>	<b>211</b>
6.1	模拟实例一	211
6.1.1	程序说明	211
6.1.2	理论基础	211
6.1.3	编程步骤	214
6.2	模拟实例二	221
6.2.1	程序说明	221
6.2.2	理论基础	221
6.2.3	编程步骤	223
<b>第7章</b>	<b>水的波动的模拟</b>	<b>235</b>
7.1	编程实例一	235
7.1.1	程序说明	235
7.1.2	理论基础	235
7.1.3	编程步骤	237
7.2	编程实例二	242
7.2.1	程序说明	242
7.2.2	理论基础	242
7.2.3	编程步骤	244
<b>第8章</b>	<b>粒子系统的模拟</b>	<b>252</b>
8.1	粒子系统概述	252
8.1.1	过程模型	252

8.1.2	粒子系统.....	252
8.2	编程实例一.....	254
8.2.1	程序说明.....	254
8.2.2	理论基础.....	254
8.2.3	编程步骤.....	256
8.3	编程实例二.....	263
8.3.1	程序说明.....	263
8.3.2	理论基础.....	264
8.3.3	编程步骤.....	267
<b>第 9 章</b>	<b>碰撞检测编程.....</b>	<b>278</b>
9.1	碰撞检测概述.....	278
9.2	编程实例一.....	279
9.2.1	程序说明.....	279
9.2.2	理论基础.....	280
9.2.3	编程步骤.....	282
9.3	编程实例二.....	317
9.3.1	程序说明.....	317
9.3.2	理论基础.....	317
9.3.3	编程步骤.....	318
<b>第 10 章</b>	<b>LOD 技术编程.....</b>	<b>325</b>
10.1	LOD 技术概述.....	325
10.2	编程实例.....	328
10.2.1	程序说明.....	328
10.2.2	理论基础.....	329
10.2.3	编程步骤.....	330
<b>第 11 章</b>	<b>火焰的模拟.....</b>	<b>362</b>
11.1	编程实例一.....	362
11.1.1	程序说明.....	362
11.1.2	理论基础.....	362
11.1.3	编程步骤.....	364
11.2	编程实例二.....	368
11.2.1	程序说明.....	368
11.2.2	理论基础.....	369
11.2.3	编程步骤.....	371

<b>第 12 章 爆炸效果的模拟</b> .....	<b>390</b>
12.1 编程实例一 .....	390
12.1.1 程序说明.....	390
12.1.2 理论基础.....	390
12.1.3 编程步骤.....	392
12.2 编程实例二 .....	415
12.2.1 程序说明.....	415
12.2.2 理论基础.....	416
12.2.3 编程步骤.....	418
<b>第 13 章 霓虹效果的模拟</b> .....	<b>425</b>
13.1 编程实例一 .....	425
13.1.1 程序说明.....	425
13.1.2 理论基础.....	425
13.1.3 编程步骤.....	426
13.2 编程实例二 .....	430
13.2.1 程序说明.....	430
13.2.2 理论基础.....	430
13.2.3 编程步骤.....	433
13.3 编程实例三 .....	440
13.3.1 程序说明.....	440
13.3.2 理论基础.....	441
13.3.3 编程步骤.....	442
<b>第 14 章 对象捕捉的编程</b> .....	<b>456</b>
14.1 编程实例一 .....	456
14.1.1 程序说明.....	456
14.1.2 理论基础.....	456
14.1.3 编程步骤.....	458
14.2 编程实例二 .....	477
14.2.1 程序说明.....	477
14.2.2 理论基础.....	477
14.2.3 编程步骤.....	479
<b>第 15 章 自然现象的模拟</b> .....	<b>484</b>
15.1 编程实例一 .....	484
15.1.1 程序说明.....	484

15.1.2	理论基础.....	484
15.1.3	编程步骤.....	486
15.2	编程实例二.....	491
15.2.1	程序说明.....	491
15.2.2	理论基础.....	491
15.2.3	编程步骤.....	492

# 第 1 章 OpenGL 与图形可视化概述

## 1.1 图形可视化概述

所谓可视化 (Visualization),《牛津英语词典》解释为“构成头脑情景的能力或过程,或不可直接觉察的某种东西的视觉”。此术语亦指本来不可见的东西成为可见图像的过程, X 光片即为其例。有人指出:可视化是一系列的转换,这种转换将原始模拟数据转换成可显示的图像,这种转换的目的在于将信息转换成可被人类感应系统所领悟的格式。

可视化成为一种技术与方法应用于有关科学和工程技术各个领域,开始于利用计算机图形来加强信息的传递和理解。随后,计算机图像处理技术和计算机视觉也成功地用来处理各类医学图像和卫星图片,以帮助人们理解和利用各类图像数据。1998 年 2 月由 B.H.McCormick 等根据美国国家科学基金会召开的“科学计算可视化研讨会”的内容撰写的一份报告中正式提出了“科学计算可视化”(Visualization in Scientific Computing, 简称 ViSC)的概念,从此标志着一门新的可视化学科的问世。

科学计算可视化的产生是当代科学技术飞速发展的结果,而推动科学计算可视化这一新的研究方向发展的一个重要因素就是实现科学计算过程可视化方面的需求。科学家使用计算机进行计算时,不仅仅要对最终结果进行解释,而且希望能对计算的中间结果进行解释,即希望对整个计算过程进行实时的监控,例如改变其参数、调整其显示的分辨率及视觉的效果等。对此,科学计算可视化提供了帮助科学家实现其驾驭计算过程模型研究系统行为的一个定量分析过程,在这个过程中无论是各子系统的运行流程还是系统的总体控制都是由大量计算数据所表现和完成的,其实现仍是一个科学计算过程。这样就决定了科学计算可视化技术在系统仿真方法领域中广泛应用的必然性,并最终导致可视化仿真 (Visual Simulation) 的出现。

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。无论是丝丝入扣的机械零件设计、惊心动魄的虚拟战场演习,还是如同身受的 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。

人们对三维图形技术的研究已经经历了一个很长的历程,而且涌现了许多三维图形开发工具,其中 SGI 公司推出的 GL (Graphics Library) 三维图形库表现尤为突出,它易于使用且功能强大。随着计算机技术的迅速发展, GL 已经进一步发展成为 OpenGL, 现在 OpenGL 已被

认为是高性能图形和交互式视景处理的标准。

OpenGL（即开放性图形库 Open Graphics Library），是一个三维的计算机图形和模型库，最初是美国 SGI 公司为图形工作站开发的一种功能强大的三维图形机制（或者说是一种图形标准）。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 公司在 1992 年 7 月发布 1.0 版，后成为工业标准，由成立于 1992 年的独立财团 OpenGL Architecture Review Board (ARB) 控制。SGI 等 ARB 成员以投票方式产生标准，并制成规范文档（Specification）公布，各软硬件厂商据此开发自己系统上的实现。只有通过了 ARB 规范全部测试的实现才能称为 OpenGL。1995 年 12 月 ARB 批准了 1.1 版本，最新版规范是 1999 年 5 月通过的 1.2.1。

OpenGL 独立于硬件和窗口系统，在运行各种操作系统的各种计算机上都可用，并能在网络环境下以客户/服务器模式工作，是专业图形处理、科学计算等高端应用领域的标准图形库。它低端应用上的主要竞争对手是 MS-Direct3D，该图形库是以 COM 接口形式提供的，所以极为复杂，稳定性差，另外微软公司拥有该库版权，目前只在 Windows 平台上可用。Direct3D 的优势在速度上，但现在低价显卡都能提供很好的 OpenGL 硬件加速，所以做 3D 图形开发使用 Direct3D 已没有特别的必要。在专业图形处理特别是高端应用方面目前还没有出现以 Direct3D 技术为基础的例子，而游戏等低端应用也有转向 OpenGL 的趋势。

微软在 Windows NT 对 OpenGL 的支持始于 3.51 版，在 Windows 9x 中的支持始于 Win95 OEM Service Release 2。Windows 下常用的 OpenGL 库有两种，MS 实现的和 SGI 实现的，MS-OpenGL 调用会自动检测是否存在显示卡制造商提供的 ICD(Installable Client Device Driver) 驱动程序，有则调用 ICD 中的例程，否则使用 CPU 进行计算，所以能利用显示卡的 OpenGL 加速能力。对开发者来说使用方法并没有区别，只是有 ICD 驱动时更快些。SGI 的版本是纯软件实现，不能利用硬件加速并且 SGI 已经在 1999 年宣布停止支持，但这套图形库便于调试程序，仍有不少开发者使用。

近日 SGI 宣布与 Intel 联手针对当前及未来 IA 体系的 Internet 流化 SIMD 扩展优化 OpenGL。这显然意味着 OpenGL 未来在 Intel 体系及 Internet 应用领域将大放光彩。

SGI 曾经宣布研发 OpenGL++，该图形库最大的特点是面向对象，提供了树形场景支持，大大节省了使用 OpenGL 处理复杂场景的工作量。1999 年 SGI 宣布与 MS 合作开发 Ferihant，即 Windows 的下一代图形处理体系，包括 DirectX 与 OpenGL 的低级图形处理接口和以场景图支持为特点的高级接口，并且就此停止对其在 Windows 下的 OpenGL 实现的支持以示决心。此举令世人瞩目，大家都以为 Windows 图形处理快要过上幸福生活了，然而，不久，SGI 宣布中止合作，并撤回派出的科学家，Ferihant 基本上夭折。SGI 称终止合作的原因是 MS 不肯积极合作，光想把 SGI 的技术合并进 DirectX，但是真正内幕不详。不过以 SGI 在图形处理界的老大地位来说，还是有几分可信度的，因为 MS 最初支持 OpenGL 就不积极。

利用 OpenGL 可以创作出具有照片质量的、独立于窗口系统（Windowing System）、操作

系统 (Operating System) 和硬件平台的三维彩色图形和动画。OpenGL 的核心库包括 100 多个用于 3D 图形操作的函数, 主要负责处理对象外形描述、矩阵变换、灯光处理、着色、材质等和三维图形图像密切相关的事情。OpenGL 工具库所包含的辅助函数是 OpenGL 基本函数的补充。这些函数的功能相对高级, 可以用于处理坐标变换、错误处理、绘制球体、锥体、柱体、曲线、曲面等图形实体。

计算机硬件性能的提高和 OpenGL 本身的不断发展, 使得 OpenGL 不再只属于专用图形工作站。如今, 开发人员可以在各种硬件平台利用 OpenGL 进行图形软件开发。

OpenGL 可以运行在当前各种流行的操作系统之上, 如 Mac OS、Unix、Windows 95/98、Windows NT/2000、Linux、OPENStep、Python、BeOS 等。各种流行的编程语言都可以调用 OpenGL 中的库函数, 如 C、C++、FORTRAN、Ada、Java。OpenGL 完全独立于各种网络协议和网络拓扑结构。目前, Microsoft 公司、SGI 公司、ATT 公司的 Unix 软件实验室、IBM 公司、DEC 公司、SUN 公司、HP 公司等几家在计算机市场占主导地位的大公司都采用了 OpenGL 图形标准。值得一提的是, 由于 Microsoft 公司在 Windows NT 和 Windows 95/98 中提供 OpenGL 标准, 使得 OpenGL 在微机中得到了广泛应用。尤其是在 OpenGL 三维图形加速卡和微机图形工作站推出后, 人们可以在微机上实现 CAD 设计、仿真模拟、三维游戏等, 从而使得应用 OpenGL 及其应用软件来创建三维图形变得更有机会、更为方便。

## 1.2 OpenGL 基本特点

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, 三维图形才开始迅速发展。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软件的连接, 但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程度上与 OpenGL 相比拟。

OpenGL 作为一个性能优越的图形应用程序设计界面 (API), 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, OpenGL 都能实现高性能的三维图形功能。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, 所以 OpenGL 应用程序具有广泛的移植性。因此, OpenGL 已成为目前的三维图形开发标准, 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。

OpenGL 应用领域十分广泛, 如军事、电视广播、CAD/CAM/CAE、娱乐、艺术造型、医疗影像、虚拟世界等。它具有以下特点:

- 工业标准

OARB (OpenGL Architecture Review Board) 联合会领导 OpenGL 技术规范的发展, OpenGL 有广泛的支持, 它是业界唯一真正开发的、跨平台的图形标准。

- 可靠度高

利用 OpenGL 技术开发的应用图形软件与硬件无关，只要硬件支持 OpenGL API 标准就行了，也就是说，OpenGL 应用可以运行在支持 OpenGL API 标准的任何硬件上。

- 可扩展性

OpenGL 是低级的图形 API，它具有充分的可扩展性。如今，许多 OpenGL 开发商在 OpenGL 核心技术规范的基础上，增强了许多图形绘制功能，从而使 OpenGL 能紧跟最新硬件发展和计算机图形绘制算法的发展。对于硬件特性的升级可以体现在 OpenGL 扩展机制以及 OpenGL API 中，一个成功的 OpenGL 扩展会被融入在未来的 OpenGL 版本之中。

- 可伸缩性

基于 OpenGL API 的图形应用程序可以运行在许多系统上，包括各种用户电子设备、PC、工作站以及超级计算机。

- 容易使用

OpenGL 的核心图形函数功能强大，带有很多可选参数，这使得源程序显得非常紧凑；OpenGL 可以利用已有的其他格式的数据源进行三维物体建模，大大提高了软件开发效率；采用 OpenGL 技术，开发人员几乎可以不用了解硬件的相关细节，便可以利用 OpenGL 开发照片质量的图形应用程序。

- 灵活性

尽管 OpenGL 有一套独特的图形处理标准，但各平台开发商可以自由地开发适合于各自系统的 OpenGL 执行实例。在这些实例中，OpenGL 功能可由特定的硬件实现，也可用纯软件例程实现，或者以软硬件结合的方式实现。

客观世界和各种事物的形状虽然千变万化，但用计算机将之描述出来却只需要把一系列基本操作组合起来。

OpenGL 提供了以下基本操作：

- 绘制物体

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 提供了丰富的基本图元绘制命令，从而可以方便地绘制物体。

- 变换

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 提供了一系列基本的变换，如取景变换、模型变换、投影变换及视口变换。

- 光照处理

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。

- 着色

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。

- 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。



- 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。

- 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。

- 位图和图像

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。

- 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。

- 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。

OpenGL 并没有提供三维模型的高级命令,它也是通过基本的几何图元——点、线及多边形来建立三维模型的。目前,有许多优秀的三维图形软件(如 3DS MAX)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。

## 1.3 OpenGL 图形的实现

### 1.3.1 OpenGL 体系结构

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。

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