

95

TP3/1.4/
J44C

图象图形科学丛书

OpenGL VC/VB 图形编程

江 早 主编
江 早 王洪成 编著



A0964717

科 学 出 版 社

2001

内 容 简 介

本书是一本专门介绍 OpenGL 编程技术的书籍。为了结合目前的应用,重点介绍 OpenGL Windows 编程技术。本书分为 OpenGL 基础、OpenGL Windows 编程、Visual Basic 下 OpenGL 编程、OpenGL 图形编程应用四个部分,共 20 章内容,以 OpenGL 基础知识为背景,突出基于 Visual C++ 6.0 为工具的编程环境,特别安排了 OpenGL 的 Visual Basic 编程接口技术介绍和几个大型应用例子,内容新颖,实例丰富。

本书适合图象图形技术开发人员学习和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

OpenGL VC/VB 图形编程/江早主编:江早、王洪成
编著. -北京:科学出版社, 2001

(图象图形科学丛书)

ISBN 7-03-007235-9

I. O… II. ①江… ②江… ③王… III. 三维-
动画-图形软件, Open GL-程序设计 IV. TP391. 41
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 72049 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

北京双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 2 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
2001 年 2 月第一次印刷 印张: 26
印数: 1—4 000 字数: 616 000

定价: 39.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<环伟>)

图象图形科学丛书编委会名单

主任委员

潘云鹤

副主任委员

(按姓氏笔划为序)

王宝兴 王淑兰 罗志安 章毓晋

委 员

(按姓氏笔划为序)

王宝兴 王淑兰 石教英 江 早 刘健勤
朱述龙 何江华 张永生 罗治安 崔 屹
章毓晋 鲍虎军 潘云鹤 潘志庚

丛书序言

图象图形是人类相互交流和认识客观世界的主要媒体。科学研究和统计表明,视觉系统帮助人类从外界获得 $3/4$ 以上的信息,而图象图形带给我们的正是视觉世界中的所有信息。视觉信息所起的客观作用是其他信息不能替代的,百闻不如一见就是一个非常形象的例子。图象图形是现代信息化社会的重要支柱。

图象图形科学是一门理论与现代高科技相结合来系统地研究各种视觉原理、技术和应用的综合性很强的交叉学科。图象图形技术在广义上是各种与视觉有关技术的总称。人类基于视觉的活动,是一个广阔、复杂、富有挑战性的研究领域。图象图形科学和技术是这个领域的有力工具。该学科包括利用计算机和其他电子设备观察世界而获得数据及对数据处理并且显示这些数据的理论和技术。

图象图形科学具有涉及面广,内容丰富,跨行业、跨学科的特点。从它的研究方法来看,它与数学、物理学、生理学、心理学、电子学、计算机科学等许多学科可以相互借鉴;从它的研究范围来看,它与人工智能、神经网络、遗传算法、模糊逻辑等理论和技术都有密切的联系;它的发展应用与医学、军事、遥感、通信、影视、文档处理和工业自动化等许多领域也是不可分割的。在科学史上,它代表了最活跃和令人振奋的边缘学科之一。

图象图形技术已经迅速渗透到人类生活和社会发展的各个方面,图象图形技术无论在科学研究、工业生产、文化娱乐、管理部门都得到越来越多的重视。图象图形技术在工业检测、高空侦察、制导、文件处理、动画、虚拟现实、生物医学、人体科学、艺术、远程教育、科学可视化、计算机辅助设计、遥感、航天等方面都得到越来越多的应用。进入 21 世纪后,其发展将更加迅速。

“图象图形科学丛书”正是在这种形势下组织出版的。中国图象图形学会和科学出版社为该套书的出版付出了很多的努力。这套丛书比较全面地覆盖了图象图形科学的各个分支,是广泛了解图象图形领域基本理论、技术应用和发展动态的最好读物;也是从事图象图形领域科学研究、技术开发和实际应用人员的必备工具书。

“图象图形科学丛书”由我国该领域的专家编写,这些专家既对图象图形领域的发展有全面的把握,又分别在其中的某一方向上有深入的研究和独到的见解,丛书充分反映了当前图象图形科技研究的前沿、进展和水平。希望该套书为发展图象图形科学技术,活跃学术气氛,交流研究成果,促进科技发展,为迎接信息技术的挑战,为我国图象图形事业做出应有贡献。

潘雪鹤

2000 年 2 月 1 日

前 言

俗话说：“耳听为虚，眼见为实”，视觉在人们日常生活中的重要性是不言而喻的。科学研究证明，人类感知外界的信息，80%以上是依靠视觉获得的，因此，对人类视觉的研究，以及利用计算机进行图象图形处理在信息处理中显得尤为重要。随着计算机和现代通信技术的飞速发展，计算机图形学和数字图象处理技术也得到了迅速的发展，为人类带来了一个绚丽多彩的虚拟的计算机视觉世界。

OpenGL (Open Graphics Language) 的前身是由 SGI 公司为其图形工作站开发的 IRIS GL，是一个工业标准的计算机三维图形软件接口。随着该图形库可移植性的改善，已被世界上主要的计算机软硬件厂商所采纳，从而成为三维图形编程事实上的工业标准。OpenGL 可以运行在许多流行的 UNIX 平台和 Windows 平台上。OpenGL 功能强大，能够创建出接近光线追踪的高质量的三维图象，是进行三维图形编程、实现科学数据可视化、实体仿真、国际互连网和企业内部网的 3D WEB 可视化、三维动画乃至虚拟现实场景的重要工具，在 CAD/CAM，Internet，广告，艺术，商业等诸多领域有着广泛的应用。尤其是当 Microsoft 把 OpenGL 集成到 Windows 9x/NT 中，给 OpenGL 的应用注入了新的活力。目前在国内外均掀起了 OpenGL 热。

但是，目前国内关于 OpenGL 的资料仍比较缺乏，仅有的资料侧重 UNIX 平台或者是 DOS 接口。由于在国内应用工作站的用户比较少，而且随着微机的硬件和性能的显著提高，配合 32 位操作系统的出现，整体性能已经接近或超过了早期的工作站水平；特别是 Visual C++ 等集成开发环境的出现，使得在微机上实现高品质、交互式的三维图象更加方便。因此，基于 Windows 环境的 OpenGL 程序开发正在成为一种主流应用技术。

从目前的状况来看，OpenGL 是最优秀的可视化编程接口之一，而且有势不可挡的发展前景。现在最新版本 OpenGL 1.2 已经发行，它对 OpenGL 现有的功能进行了进一步扩展。而且，国内外一些著名的软件公司也都使用 OpenGL 开发了 Windows 9x/NT 环境下的应用软件。目前，国内对 OpenGL 的应用还处于初级阶段。我们希望本书的出版能使读者比较快捷和容易地进入 OpenGL 编程的新天地。

本书的几个特色在于：

- 重点放在 OpenGL Windows 编程的理论、方法上，以 Visual C++ 6.0 为编程工具，具有很好的实用性；
- 结合具体的知识点，引用了丰富的例子，图文并茂，包括了关键的程序源代码，符合流行计算机书籍便于实践的特点；
- 结构完整、内容丰富，既有特色编程，也有通用编程，从 OpenGL 基础知识、计算机图形学基础知识到 OpenGL Windows 编程的方法和实例，以及应用策略，都有详实的描述；
- 本书专门设置的 OpenGL 应用篇，包括了 CAD/CAM、医学图象处理、虚拟现实方面 OpenGL 应用的大型实例，为读者开拓视野、结合具体应用起到良好的引导作

用。

●对于熟悉 windows 编程，特别是采用 Visual basic 作为工具的读者，常常苦于不掌握 OpenGL 编程接口技术，本书特别设置了采用 Visual Basic 的 OpenGL 编程篇，提供了相关技术方法，体现了本书有别于其他介绍 OpenGL 编程书籍的一大特色。

本书图表中涉及一些外文，作者恐自己水平有限，对原文理解不准确，故未译成中文，在附录五中列出英汉对照表，供参考。协助本书编写工作的还有万家华、文闻两位研究生，在此一并表示感谢。

编著者

2000 年 6 月

目 录

第一篇 OpenGL 基础

第一章 OpenGL 概述	3
1.1 OpenGL 的特点	3
1.2 OpenGL 主要的图形功能	6
1.3 OpenGL V1.2 新增的主要功能	7
第二章 计算机图形学基础知识	9
2.1 坐标变换	9
2.2 透视原理	10
2.3 隐藏面消除	12
2.4 光照模型	13
第三章 入门实例与几何实体绘制	14
3.1 入门实例	14
3.2 OpenGL 命令语法和图元	19
3.3 主要函数	21
3.4 改变状态	26
3.5 绘制三维实体	32
第四章 坐标变换、动画与显示列表	37
4.1 坐标变换	37
4.2 动画原理	39
4.3 显示列表	47
第五章 颜色、光照与纹理	56
5.1 颜色	56
5.2 光照	60
5.3 纹理映射	76

第二篇 OpenGL Windows 编程

第六章 快速入门	85
6.1 实例简介与准备工作	85
6.2 PreCreateWindow	87
6.3 OnCreate	87
6.4 OnSize	91
6.5 OnEraseBkgn 和 OnInitialUpdate	94

6.6	OnDraw	100
6.7	OnDestroy 和 OnIdle	103
6.8	实例程序 GLEasy	103
第七章	RGB 模式下的 Windows 调色板	134
7.1	概述	134
7.2	建立合适的调色板	134
7.3	3-3-2 调色板	136
7.4	系统颜色	139
第八章	建立 OpenGL C++ 类	141
8.1	概述	141
8.2	CGL 的设计目标	142
8.3	CGL 类的结构	143
8.4	将 CGL 放在 DLL 中	150
8.5	使用 CGL	151
8.6	增加 CGL 的视类 CGLView	151
8.7	使用 CGL 和 CGLView	153
8.8	实例程序 CGL	154
第九章	OpenGL 颜色索引模式	171
9.1	概述	171
9.2	选择颜色索引模式	171
9.3	GL_SHININESS	173
9.4	GL_COLOR_INDEXES	173
9.5	EasyCI 的改变	176
9.6	Glib 的改变	176
9.7	EasyCI 的改变	179
第十章	转换 Windows DIBS	181
10.1	概述	181
10.2	背景知识	181
10.3	OpenGL 图形格式	182
10.4	Windows DIB 格式	185
10.5	转换	186
10.6	CGLImage	193
10.7	Glib 的改变	194
第十一章	纹理映射	195
11.1	邮票和箱子	195
11.2	EasyTex 例程	196
11.3	PicCube 屏幕保护例程	197
11.4	把 DIBs 转化为纹理	197
11.5	初始化纹理映射	199
11.6	设置纹理坐标	203
第十二章	OpenGL Windows 实现细节	206
12.1	MYGL 简介	206

12.2	普通格式、设备格式及 OpenGL 体系结构	206
12.3	像素格式管理	209
12.4	OpenGL 设备描述表	215
12.5	OpenGL 绘图描述表	216
12.6	实例程序 MyGL	220

第三篇 Visual Basic 下 OpenGL 编程

第十三章	OpenGL VB 编程概述	243
13.1	OpenGL 中 VB 类库的使用	243
13.2	简单实例 Simple	243
第十四章	将 C 代码移植到 VB	249
14.1	移植方法	249
14.2	绘制光照球体的移植实例	251
14.3	移动光源的移植实例	256
14.4	纹理映射的移植实例	264
第十五章	OpenGL 的一个支持控件——GlxCtl.ocx	272
15.1	GlxCtl.ocx 控件	272
15.2	模板项目 ProjectZ	272
15.3	用 VB 控件编写 OpenGL 应用程序	281
15.4	运行结果及程序代码	283
第十六章	VB 下 GLUT 实例的移植	285
16.1	建立模板项目	285
16.2	事件的产生	285
16.3	格栅的生成	286
16.4	事件	286
16.5	类和集合	287
16.6	转换 C 代码	288
16.7	运行结果	289
16.8	常见问题与解答	300
第十七章	将 OpenGL 图象存储到文件	302
17.1	从帧缓存中读取像素	302
17.2	绘图到内存 DC	303
17.3	运行结果及代码	303

第四篇 OpenGL 图形编程应用

第十八章	OpenGL 在 CAD/CAM 中的应用	329
18.1	概述	329
18.2	系统的结构框架	330
18.3	加工仿真环境的建立	331
18.4	系统与 OpenGL 接口的实现	332

18.5 仿真结果	334
第十九章 基于 OpenGL 的可视化工具 VTK	335
19.1 VTK 简介	335
19.2 用 VTK 开发应用程序	336
19.3 VTK 图形处理	342
19.4 VTK 文件格式简介	353
19.5 VTK 开发虚拟机床的实例	354
第二十章 OpenGL 在医学图象中的应用	359
20.1 概述	359
20.2 CT 图象的三维重建	360
20.3 实例程序及运行结果	363
附录	372
附录 1 典型 OpenGL 程序的组织和操作顺序	372
附录 2 OpenGL 命令	373
附录 3 OpenGL 扩展图形库	380
附录 4 基于 OpenGL 的工具库简介	386
附录 5 计算机图形学中英文对照词汇表	393
参考文献	402

第一篇 OpenGL 基础

介绍 OpenGL 基本知识，包括 OpenGL 发展的历史、功能与特点，通过实例引入了绘制几何实体的 OpenGL 命令和状态改变的主要函数。介绍了 OpenGL 进行坐标变换的有关命令，实现动画的基本原理，显示列表的使用方法，以及颜色、光照和纹理映射等主要技术内容。另外，为了适应不同层面的读者，还补充介绍了计算机图形学的基础知识，包括坐标变换、透视原理、隐藏面消除和光照模型，作为以后进行 OpenGL 编程最基本的知识。

第一章 OpenGL 概述

1.1 OpenGL 的特点

OpenGL 是用于开发简捷的交互式 2D 和 3D 图形应用程序的最佳环境。OpenGL 自 1992 年出现以来, 逐渐成为工业上应用最广泛的支持 2D 和 3D 图形的应用程序编程接口, 并出现了成千上万的基于各种计算机平台的应用程序。OpenGL 通过集成大量的渲染、纹理映射、特殊效果和其他强大的可视化函数, 使得其应用程序更加新颖, 并大幅度加速了图形应用程序的开发。OpenGL 具有如下特点:

1. 高质量、高性能的可视化

任何要求高性能图形的应用程序, 从 3D 动画、CAD 到可视化仿真, 都可以利用 OpenGL 高质量、高性能的特点。OpenGL 的高性能可以让开发者在不同的领域, 如广播、CAD/CAM/CAE、娱乐、医学图象和虚拟现实等, 绘制并显示让人难以想象的 2D 和 3D 图形。

2. 方便开发者

(1) 工业标准: 有一个独立的协会——OpenGL Architecture Review Board 指导 OpenGL 规范, 有广泛的工业界支持。OpenGL 已成为唯一真正开放的、独立于经销商的多平台图形标准。

(2) 稳定性: OpenGL 具备多种平台上的实现程序, 除了很好地实现其规范外, 还及时地将 OpenGL 的更新信息向开发者公布, 向后兼容的性能保证现有的应用程序不会过时。

(3) 可靠性和可移植性: 所有的 OpenGL 应用程序在任何一个 OpenGL API 适用的硬件上产生一致的可视效果, 与操作系统和窗口系统无关。

(4) 可扩展性: 由于 OpenGL 的完善和富有前瞻性的设计, 通过其扩展机制, 允许通过 API 访问新的硬件变更。这样, 硬件革新可以很好地体现在 API 中, 使应用程序开发者和硬件经销商在产品的新版本中快速地将新的特征集成进去。

(5) 适应和可伸缩性: OpenGL 基于 API 的应用程序可以在不同的系统上运行, 从消费类电子产品到 PC、工作站和超级计算机。因此, 其应用程序可适应于任意类型的机器。

(6) 易用性: OpenGL 是通过直觉设计和逻辑命令构造的。有效的 OpenGL 例程可以用比其他图形库和软件包更少的代码完成应用程序。另外, OpenGL 封装了硬件的信息, 使得应用程序开发者不用针对特定的硬件功能进行设计。

(7) 文档完善: 已经出版了大量的关于 OpenGL 的英文文档, 其中包括了大量的例

子代码，因此比较容易获得关于 OpenGL 的英文信息。

3. 简化软件开发

从渲染一个简单的几何点、线或填充多边形到生成最复杂的光照和纹理映射的 NURBS 曲面，OpenGL 例程简化了图形软件的开发。软件开发者可以获取几何和图象图元、显示列表、模型变换、光照和纹理、反走样、混合和其他一些特征。

不同平台的 OpenGL 实现程序包括了 OpenGL 函数的完全实现。OpenGL 标准已经与 C, C++, Fortran, Ada 和 Java 语言捆绑。利用 OpenGL 函数编写的程序很容易移植到其他的平台，使编程效率大大提高，缩短了产品的开发周期。

所有的 OpenGL 状态元素，甚至纹理内存和帧缓存的内容，都可以通过其应用程序获得。OpenGL 也支持二维图象的可视化应用程序，将二维图象看作图元，可以象三维几何实体操作那样进行操作。

4. 随处可得

支持所有的 UNIX 工作站和 Windows NT 和 Windows 95/98 PC，是适用硬件平台和软件环境最广泛的图形编程 API。OpenGL 可以在所有主要的操作系统上运行，包括 Mac OS, OS/2, UNIX, Windows 95, Windows NT, Linux, OpenStep, Python, 以及 BeOS, 另外也适应于所有主要的窗口系统，包括 Presentation Manager, Win32, 和 X/Window 系统。OpenGL 可以在 Ada, C, C++, Fortran 和 Java 语言中调用，并与网络协议和布局完全无关。

5. 灵活的结构

尽管 OpenGL 规范定义了特定的图形处理流程，平台经销商可以删除某些 OpenGL 程序来满足特定系统及其性能的要求。在专用硬件上可以执行单个调用，在标准的 CPU 系统上作为一个标准的例程运行，或者作为专用硬件和软件例程的合并执行单个调用。这种实现上的灵活性意味着从简单的渲染到整个几何体，从低性能的 PC 到高性能的工作站和超级计算机，都可以实现 OpenGL 硬件加速。在不同的 OpenGL 的开发平台上，应用程序开发者可以保证显示结果的一致性。

使用 OpenGL 扩展机制，硬件开发者通过开发其扩展来开发不同的产品，从而允许软件开发者获得额外的性能和技术更新。

6. 高级 API 的建立

高级软件开发者可以用 OpenGL 强大的渲染库创建 2D 和 3D 图形的高级 API。开发者利用 OpenGL 提供的广泛支持为市场提出解决方案。例如，Open Inventor 提供了一个跨平台的用户接口和灵活的场景，使创建 OpenGL 应用程序更容易。IRIS Performer 除具有 OpenGL 的功能之外，还提供其他的特征。OpenGL Optimizer 是一个基于复杂曲面建模的实时交互、修改和渲染工具，这在 CAD/CAM 和创建特殊效果时经常遇到。Fahrenheit Scene Graph, 利用 OpenGL 的功能提供一个应用平台和 API，减少开发时间，增强了性能和可视化效果。

7. OpenGL 的管理

OpenGL Architecture Review Board (ARB) 是在 1992 年成立的独立的协会, 负责管理 OpenGL 规范。它由许多工业界领先的图形经销商成员组成, ARB 指定一致性测试, 并批准 OpenGL 性能的升级。目前, 该协会包括来自 Compaq, Evans & Sutherland, HewlettPackard, IBM, Intel, Intergraph, Microsoft, 和 SGI 的代表。其 web 站点是: www.opengl.org。

OpenGL Performance Characterization Committee 是另一个独立的组织, 负责创建和维护 OpenGL 基准, 并在网站上公布基准的结果。其 web 站点为: www.specbench.org/gpc/opc.static/index.html。

8. 不断创新

OpenGL 标准是不断升级的, 周期性地地进行正式的修改, 通过不断地进行开发, 允许应用程序开发者通过 OpenGL 获得最新的硬件更新扩展。当扩展被广泛接受之后, 即可考虑将它包括到 OpenGL 标准的内核中。这使得 OpenGL 以一种创新的方式升级。

在 OpenGL 最新的版本 (V1.2) 中, 以前属于 OpenGL 扩展的性能已经包含到 OpenGL 标准的内核中。

9. 授权

授权的硬件平台经销商可以获得 ARB 同意的 OpenGL 规范和原码。对于终端用户、独立的软件经销商, 其他基于 OpenGL 写的代码不需要授权。

OpenGL 自诞生以来, 已经得到广泛应用, 表 1-1 给出 OpenGL 应用程序的部分列表。

表 1-1 部分基于 OpenGL 的应用程序及其厂商

公 司	应 用 程 序
三维动画与建模	
Alias Wavefront	Maya
Byte by Byte	Soft F/X 3D
Caligari	TruSpace
CrystalGraphics	Crystal 3D Impact Pro
Hash Inc.	Hash 3Dk Animation System
Hollywood FX Inc.	3D Studio Max, Character Studio
Kinetix	Lightscape
Lightscape	GameGen, MultiGen Creator
MultiGen	LifhtWave 3D
Newtek	N-World
Nichimen Graphics	Digital Studio, Softimage 2D
Softimage	StudioPro
Template Graphics Software	LiveWork 3D, 3Space Publisher

续表

公 司	应 用 程 序
CAD/CAM & 数字原型	
Bentley Systems	Microstation
CoCreate	SolidDesigner
Dassault Systems	CATIA
EDS Unigraphics	Unigraphics
Kinetix	3Dstudio VIZ
Matra Datavision	EUCLID Quantum
Parametric Technology Corp	Pro/ENGINEER, PT/Modeler
Parasolid	UG/Creator
SDRC	I- DEAS
SolidWorks	SolidWorks
可视化仿真与虚拟现实	
Advanced Visual Systems	AVS/Express
Coryphaeus Software	Designer' s Workbench
DataPath	RealMation
IBM	Visualization Data Explorer
MultiGen	MultiGen II Pro
Paradigm Simulation	Vega
Research Systems	IDL
Sense8/Engineering Animation Inc.	WorldToolKit
Silicon Graphics	IRIS Performer
虚拟现实建模语言 (VRML)	
Cosmo Software	Cosmo World, PageFX
Ligos Technology	V-Realm Builder
Rendersoft	Rendersoft VRML Editor
Sense8/Engineering Animation Inc.	World Up
System in Motion	Polyred
游 戏	
Epic Megagames	Unreal
Id Software	Quake2
ION Storm	Dai-katama, Anachronox
Laminar Research	X-Plane
Ritual Entertainment	SiN
Valve Software	Half-Life
Zombie VR Studios	SpecOps

1.2 OpenGL 主要的图形功能

OpenGL 的主要的图形功能如下：

(1) 累积缓存：在累积缓存中，多个渲染的帧组合产生单个的图象。用于产生各种效果，如域的深度、移动模糊和整个场景、反走样。

(2) alpha 混合：提供生成透明实体的一种方法。使用 alpha 可以定义从完全透明到

完全不透明的实体。

(3) 反走样：一种用于绘制光滑线条和曲线的方法。该方法将与线条相近的像素平均分配颜色。它减少了线条上和与线条相近的像素的平移，从而看起来更加光滑。

(4) 颜色索引模式：颜色缓存存储颜色的索引值，而不是红、绿、蓝和 alpha 值。

(5) 显示列表：一组 OpenGL 命令的命名清单。显示列表的内容经过预先处理，因而执行起来比在即时模式下运行相同的命令更加迅速。

(6) 双缓存：用于实体的光滑动画。运动实体的每个连续的场景可以在后缓存中构造，然后显示。它只允许完整的图象显示在屏幕上。

(7) 反馈：OpenGL 将处理过的几何信息（颜色、像素位置等）返回给应用程序的模式。这是与直接绘图到帧缓存对比而言的。

(8) Gouraud 阴影：穿过一个多边形或线段的光滑插值。颜色在顶点赋值，并穿过图元进行线性插值，以便产生一个较为光滑的颜色变化。

(9) 即时模式：OpenGL 命令在调用时执行，而不是通过显示列表执行。

(10) 材质光照与阴影：根据表面的材质特性，准确计算任意点颜色的能力。

(11) 像素操作：存储、变换、映射、放缩。

(12) 多项式求值器：支持非均匀有理 B 样条 (NURBS)。

(13) 图元：点、线、多边形、位图或图象。光栅图元有位图和像素矩形。

(14) RGBA 模式：颜色缓存存储红、绿、蓝和 alpha 值，而不是颜色的索引值。

(15) 选择与拾取：OpenGL 决定用户指定的某个图元是否绘制在希望的帧缓存区。

(16) 模板平面：用于掩盖颜色帧缓存中单个像素的缓存。

(17) 纹理映射：将纹理应用到图元上的过程。这个技术用于产生真实的图象。例如，可以在绘制的桌面上应用木纹的纹理，使其看起来象是真的。

(18) 变换：在 3D 坐标空间上旋转实体，改变实体大小及透视变换等。

(19) Z 缓存：用于确定实体的某一部分比另一部分与观察者更近，这在消除隐藏面时很重要。

1.3 OpenGL V1.2 新增的主要功能

OpenGL API 的最新规范定义了版本 1.2 实现的新的功能和新的图象集。

(1) 三维纹理：支持硬件加速的实体绘制。

(2) BRGA 像素格式和压缩像素格式：直接支持外部的文件和硬件帧缓存类型。

(3) 顶点向量的自动重新调节：通过改变模型矩阵，重新调整在某些情况下可以替代计算量更大的重新计算法向量的操作。

(4) 纹理映射后的镜面高亮光：产生更真实的光照效果。

(5) 纹理坐标边界紧缩：避免纹理映射中的混合边界。

(6) 细节控制的层次：对复杂纹理，可以只装入一个层次子集。在映射纹理的物体远离观察者而不需要高分辨率的纹理图象时，会节省大量的纹理缓存。

(7) 增强的顶点数组：可以指定顶点数组的子集，在一个操作中从子集中绘制实体。它允许各种优化，如预先变换、获取变换后的实体等。