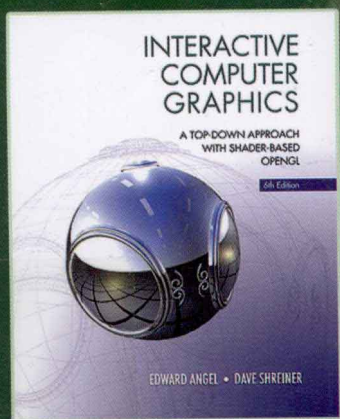


交互式计算机图形学

——基于OpenGL着色器的自顶向下方法 (第六版)

Interactive Computer Graphics
A Top-Down Approach with Shader-Based OpenGL
Sixth Edition



[美] Edward Angel 著
Dave Shreiner

张荣华 宋雨 刘书刚 等译



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

国外计算机科学教材系列

交互式计算机图形学

——基于 OpenGL 着色器的自顶向下方法

(第六版)

Interactive Computer Graphics
A Top-Down Approach with Shader-Based OpenGL
Sixth Edition

[美] Edward Angel 著
Dave Shreiner

张荣华 宋 雨 刘书刚 等译

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书采用自顶向下的方法并辅以面向编程的方式,基于现代可编程 GPU 的着色器编程,使用 C++ 语言、OpenGL 着色语言(GLSL)并结合 OpenGL 系统地介绍了现代计算机图形学的核心概念、原理和方法。本书是作者多年来教学与科研工作的总结,涵盖了基于 OpenGL 着色器的交互式图形编程、三维可编程绘制流水线、变换与观察、光照与明暗绘制、曲线曲面建模等基本的计算机图形学内容以及离散技术、层级建模、过程建模、光线跟踪、并行绘制和体绘制等高级内容,并为读者进一步深入学习和研究,在每章后面提供了相关的建议阅读资料。

本书第六版进一步反映了计算机图形学的最新发展现状,面向图形应用开发并辅以大量的示例和完整的源代码,是一本“基础性与先进性、理论性与应用性、科学性与通俗性”相结合的内容全面而又系统的国外经典计算机图形学教材。

本书既可作为有一定 C++ 编程基础的计算机及相关专业高年级本科生或研究生的计算机图形学教材,也适合于作为相关技术人员的参考书。

Authorized translation from the English language edition, entitled *Interactive Computer Graphics: A Top-Down Approach with Shader-Based OpenGL*, Sixth Edition, 9780132545235 by Edward Angel and Dave Shreiner, published by Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, Copyright ©2011 Pearson.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY Copyright ©2012.

本书简体中文版由 Pearson Education 培生教育出版亚洲有限公司授予电子工业出版社。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

本书简体中文版贴有 Pearson Education 培生教育出版集团激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2011-3917

图书在版编目(CIP)数据

交互式计算机图形学: 基于 OpenGL 着色器的自顶向下方法: 第 6 版 / (美) 安杰尔 (Angel, E.), (美) 斯赖纳 (Shreiner, D.) 著; 张荣华等译. —北京: 电子工业出版社, 2012. 5

书名原文: *Interactive Computer Graphics: A Top-Down Approach with Shader-Based OpenGL*, Sixth Edition

国外计算机科学教材系列

ISBN 978-7-121-16902-1

I. ①交… II. ①安… ②斯… ③张… III. ①计算机图形学—高等学校—教材 IV. ①TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 084874 号

策划编辑: 冯小贝

责任编辑: 李秦华

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订:

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: 32 字数: 903 千字

印 次: 2012 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 75.00 元

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 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010)88258888。

出版说明

21世纪初的5至10年是我国国民经济和社会发展的关键时期,也是信息产业快速发展的关键时期。在我国加入WTO后的今天,培养一支适应国际化竞争的一流IT人才队伍是我国高等教育的重要任务之一。信息科学和技术方面人才的优劣与多寡,是我国面对国际竞争时成败的关键因素。

当前,正值我国高等教育特别是信息科学领域的教育调整、变革的重大时期,为使我国教育体制与国际化接轨,有条件的高等院校正在为某些信息学科和技术课程使用国外优秀教材和优秀原版教材,以使我国在计算机教学上尽快赶上国际先进水平。

电子工业出版社秉承多年来引进国外优秀图书的经验,翻译出版了“国外计算机科学教材系列”丛书,这套教材覆盖学科范围广、领域宽、层次多,既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择和自由组合使用。这些教材涉及的学科方向包括网络与通信、操作系统、计算机组织与结构、算法与数据结构、数据库与信息处理、编程语言、图形图像与多媒体、软件工程等。同时,我们也适当引进了一些优秀英文原版教材,本着翻译版本和英文原版并重的原则,对重点图书既提供英文原版又提供相应的翻译版本。

在图书选题上,我们大都选择国外著名出版公司出版的高校教材,如Pearson Education培生教育出版集团、麦格劳-希尔教育出版集团、麻省理工学院出版社、剑桥大学出版社等。撰写教材的许多作者都是蜚声世界的教授、学者,如道格拉斯·科默(Douglas E. Comer)、威廉·斯托林斯(William Stallings)、哈维·戴特尔(Harvey M. Deitel)、尤利斯·布莱克(Uyless Black)等。

为确保教材的选题质量和翻译质量,我们约请了清华大学、北京大学、北京航空航天大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、华中科技大学、西安交通大学、国防科学技术大学、解放军理工大学等著名高校的教授和骨干教师参与了本系列教材的选题、翻译和审校工作。他们中既有讲授同类教材的骨干教师、博士,也有积累了几十年教学经验的老教授和博士生导师。

在该系列教材的选题、翻译和编辑加工过程中,为提高教材质量,我们做了大量细致的工作,包括对所选教材进行全面论证;选择编辑时力求达到专业对口;对排版、印制质量进行严格把关。对于英文教材中出现的错误,我们通过与作者联络和网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订。

此外,我们还将与国外著名出版公司合作,提供一些教材的教学支持资料,希望能为授课老师提供帮助。今后,我们将继续加强与各高校教师的密切联系,为广大师生引进更多的国外优秀教材和参考书,为我国计算机科学教学体系与国际教学体系的接轨做出努力。

电子工业出版社

教材出版委员会

主 任	杨芙清	北京大学教授 中国科学院院士 北京大学信息与工程学部主任 北京大学软件工程研究所所长
委 员	王 珊	中国人民大学信息学院教授 中国计算机学会副理事长，数据库专业委员会主任
	胡道元	清华大学计算机科学与技术系教授 国际信息处理联合会通信系统中国代表
	钟玉琢	清华大学计算机科学与技术系教授、博士生导师 清华大学深圳研究生院信息学部主任
	谢希仁	中国人民解放军理工大学教授 全军网络技术研究中心主任、博士生导师
	尤晋元	上海交通大学计算机科学与工程系教授 上海分布计算技术中心主任
	施伯乐	上海国际数据库研究中心主任、复旦大学教授 中国计算机学会常务理事、上海市计算机学会理事长
	邹 鹏	国防科学技术大学计算机学院教授、博士生导师 教育部计算机基础课程教学指导委员会副主任委员
	张昆藏	青岛大学信息工程学院教授

译者序

计算机图形学(Computer Graphics)产生于20世纪60年代,是研究图形的计算机生成、处理和显示的一门学科。目前计算机图形学已经渗透到工业生产和社会活动的各个领域,从飞机、汽车的计算机辅助设计到飞行模拟器、从视频游戏到数字电影;从天气预报到地质勘探;无一不应用计算机图形生成技术。因此,以图形人机接口和可视化技术为代表的计算机图形学已成为计算机学科中最活跃的分支之一。

自从1995年第一款3dfx Voodoo图形加速卡首次发布以来,图形处理单元(GPU)的绘制结构发生了巨大的变化,经历了从支持有限的固化算法(不具备可编程性的功能固定的GPU, Fixed-Function GPU)到具有统一渲染架构的完全可编程GPU(Programmable GPU)的发展变化,并通过OpenGL ES和WebGL扩展到移动和互联网领域。在过去几年,GPU得到了迅速发展,三维图形程序也经历了从运行速度的提高到拥有高质量图形表现力的转变,图形绘制系统性能的增长速度远远超过了摩尔定律,而且GPU本身还增加了许多新的特性。对于现代的OpenGL应用程序,所有的绘制都是通过顶点着色器和片元着色器来控制的,因此新的可编程结构为应用程序开发人员提供了极大的灵活性,迫切要求图形学和科学界的研究人员提出新的算法,以解决那些到目前为止一直使用传统的绘制结构解决的问题。

然而在很长的一段时间,我国大多数高校所采用的传统的计算机图形学教学模式并没有跟上时下飞速发展的计算机图形硬件的发展。这种传统的计算机图形学教学模式通常围绕功能固定的GPU的三维图形绘制流水线,使用C语言(或C++语言)并结合OpenGL API(或微软的Direct3D)介绍计算机图形学的原理、方法和基本的图形绘制算法。随着可编程GPU及众多高级着色语言(如GLSL、HLSL和Cg等)的出现,这种传统的计算机图形学教学模式的缺陷也逐渐暴露出来。不具备可编程性的GPU虽然可以获得图形绘制性能和速度的提高,但是以应用程序编程人员放弃对图形生成过程的控制为代价,因而从某种程度上限制了学生的创造性,也限制了高逼真、高质量复杂图形的生成,其后果也就势必无法改变许多学生学习计算机图形学课程中的原理知识只知其“然”,不知其“所以然”的局面。用美国著名的心理学家Maslow的话来说:“如果你唯一的工具就是锤子,就会把所有的东西都当做钉子”。这就是说,这种传统的计算机图形学教学模式必将限制学生利用高级着色语言控制GPU进行图形绘制或计算的能力。目前国外许多大学都已经将基于可编程GPU的高级着色语言融入计算机图形学的教学与实践中,如University of New Mexico、Harvard、MIT、Caltech、Stanford、Purdue、Brown University、University of Illinois、University of Texas, Austin,等等。因此,随着目前可编程GPU的快速发展,为了切实提高计算机图形学课程的教学质量与教学水平,更好地与国际计算机图形学教育及科研实践接轨,逐渐在我国高校的计算机图形学课程中引入基于可编程GPU绘制流水线及面向着色器编程的新型教学模式已是当务之急。

译者多年从事计算机图形学的教学与研究,深知选择这样一本“基础性与先进性、理论性与应用性、科学性与通俗性”相结合且能满足目前计算机图形学新型教学模式的教材的重要性。目前在国内外很少有基于这种新型教学模式的计算机图形学书籍,而本书第六版反映了计算机图形学在图形硬件设备和图形绘制标准等方面的最新发展现状。从本书的副标题(基于OpenGL着色器的自顶向下方法)可以看出,相比于前面五个版本,第六版完全基于可编程GPU的OpenGL着色器编程来介绍计算机图形学的相关原理、方法和技术。因此,本书的第六版能很好地满足这种新型教学模式的需求,也是培养学生基于现代GPU的可编程计算思维的一本非常难得的优秀教材。

本书的主要特色如下所述。

内容丰富而又系统,基础性内容和拓展性主题相结合。本书涉及现代计算机图形学课程几乎所有的主要内容,涵盖了基于 OpenGL 着色器的交互式图形编程、三维可编程绘制流水线、变换与观察、光照与明暗绘制、曲线曲面建模等基本的计算机图形学内容以及离散技术、层级建模、过程建模、光线跟踪、并行绘制和体绘制等高级内容。

内容编排和组织独具特色,综合了知识性和实用性。本书采用了“自顶向下”和面向 OpenGL 着色器编程的方法,使学生既能使用 C++ 语言、OpenGL 着色语言(GLSL)并结合 OpenGL 迅速地编写自己的交互式三维图形应用程序,又能系统地掌握计算机图形学的基本原理、方法和技术。

作者结合自己在计算机图形学领域多年的教学和科研成果,为本书提供了大量的经典示例程序(附录 A 给出了书中 10 个示例程序的完整源代码)、丰富的插图、彩图^①和习题,并在每章后面提供了最新的建议阅读资料,为进一步加深和扩展读者对有关内容的理解提供了有力支持。

既不乏经典理论,又侧重近几年计算机图形学发展的最新成果。本书第六版中新增的某些技术是最近的文献中出现的新技术,这些新技术只能基于可编程 GPU。为了及时反映计算机图形学的发展现状,本书对第五版中某些章节进行了调整,并增删了相关内容。

将第五版中的“输入和交互”和“可编程着色器”这两章的内容融入到其他的有关章节中,尤其是将基于 OpenGL 着色器的编程模式贯穿于本书所有的章节。为此,使用 C++ 语言、GLSL 语言和 OpenGL 3.1 重写了书中所有示例程序的代码(书中的所有示例程序都采用了新的绘制模式,包括三个部分:OpenGL 应用程序代码、顶点着色器代码和片元着色器代码)。

在 OpenGL 3.1 版本之前,所有的版本都向后兼容,因此使用早期 OpenGL 版本开发的图形应用程序可以确保在新版本中正常运行。然而,OpenGL 3.1 及以后的新版本废弃了早期版本中的一些 OpenGL 函数,这些废弃的函数包括立即绘制模式以及功能固定的绘制流水线中的许多默认行为。这种设计理念上的主要变化使得 OpenGL 能够迅速包含新的图形硬件特性。第六版的所有示例程序不再使用那些被 OpenGL 3.1 废弃的 OpenGL 函数,但对于那些需要运行旧版本代码的用户来说,也能正常运行其程序,这是因为几乎所有的 OpenGL 实现都支持对所有废弃功能的兼容性扩展。

增加了对 WebGL、Delaunay 三角剖分、体绘制、点云等内容的介绍。

本书原版是国外诸多大学采用的一本经典的计算机图形学教材,译者甚感荣幸再次承接了本书最新版本的翻译工作。为了确保译文的质量,译者和校对人员花了大量时间对译文进行认真的校对和统稿。对于原文中显而易见的错误,译者在译文中直接进行了更正,而对于原文中可能有误的地方,译文中均以“译者注”的形式做了标注,以供读者参照。

本书的翻译得到了很多人的帮助与参与,在此衷心感谢为本书翻译付出努力的每一个人!除了本人之外,宋雨、刘书刚、刘志宇、赵有江、石德龙、高少博、多金钊、李一梅也参与了本书的翻译工作。

译者在翻译过程中虽然力求准确地反映原著内容,但由于自身的知识局限性,译文中难免有错漏之处,敬请读者批评指正。

华北电力大学计算机系

张荣华

2011 年 9 月 于保定

^① 本书的彩图已上载到华信教育资源网(<http://www.hxedu.com.cn>),有兴趣的读者可免费下载——编者注。

前 言

第六版新增内容

- 全书使用基于着色器的新版本 OpenGL
- 不再使用在 OpenGL 3.1 中所弃用的 OpenGL 函数
- 在 OpenGL 应用程序代码和着色器中均增加了实现变换和观察的细节描述
- 保持与 OpenGL ES 2.0 和 WebGL 的一致性
- 用 C++ 代替了 C
- 增加了向量类和矩阵类以创建与 OpenGL 着色语言 (GLSL) 兼容的应用程序代码
- 讨论了基于顶点的光照计算和基于片元的光照计算
- 增加了多边形的三角细分和 Delaunay 三角剖分
- 介绍了体绘制
- 重新编写了所有示例程序的代码以适合 OpenGL 3.1
- 增加了新合著者,《OpenGL 编程指南》的作者 Dave Shreiner

本书是计算机图形学的入门教材,重点介绍应用程序的编写。本书于 1997 年首次出版,第一版在使用标准图形库和自顶向下的方法上多多少少是一场革命。在接下来的 13 年中,发行了 5 个版本,大多数计算机图形学概论课以及几乎所有的教科书都采用了本书的方法。

在过去的几年中,图形硬件的重大变化已经导致了图形软件的重大变化。在 OpenGL 的前 15 年,新版本的发布一直保持向后兼容,基础软件的升级使代码的可重用能力成为重要的优点,应用程序的开发者和图形学课程的教师都在受益。从所公布的 OpenGL 3.0 重大变化来看,其中一个关键的变化是从 OpenGL 3.1 开始,许多先前版本中最常见的函数将被废弃。相对于先前版本的这一根本变化反映出需要使用最新的可编程图形处理单元 (GPU) 的功能变化,这些变化也是 OpenGL ES 2.0 和 WebGL 的一部分,OpenGL ES 2.0 用于开发手机和图形输入板等移动终端设备的应用软件,而 WebGL 支持大多数最新的浏览器。

就像本书以前 5 个版本的作者 (Edward Angel) 以及《OpenGL 编程指南》和《OpenGL ES 2.0 编程指南》的作者 (Dave Shreiner) 一样,我们面临着如何反映这些变化的难题。我们撰写了多部书籍并在 ACM SIGGRAPH 中多年从事 OpenGL 导论课程的教学,我们发现在高等教育界或高端游戏领域之外的应用程序编程人员,几乎没有人了解这些变化,知道这些变化的人并不认为我们可以在初级层次教会这些概念。这曾是一个我们不能抗拒的挑战,在 SIGGRAPH 的课程教学中,我们从半天的短期课程开始,这使我们确信可以教会以前没有图形编程经验的人如何编写一个基于着色器的实用程序,只不过比早期版本的 OpenGL 多一点工作而已。

在编写这一版的时候,我们找到了一些其他理由,这使我们确信这种教学方法不仅是可能的,而且对学生学习计算机图形学甚至更好。就在不久前,我们宣讲了 OpenGL 带来的优势,它适用于 Windows、Linux 以及 Mac OS X,这样就可以讲授一门让学生在喜爱的操作系统环境中编程的课程。学生们现在可以用 OpenGL ES 和 WebGL 开发手机和 Web 浏览器上的应用软件,这将激励学习计算机图形学的学生和教师,并开辟许多新的教育和商业机会。

我们认为对于学习经验来说尤为重要,读者应该知道在这些 OpenGL 的新版本中弃用了先前版本中的大部分默认函数以及固定功能的绘制流水线。乍看起来,这种弃用机制似乎使第一节课程的教学更加困难,也可能稍微困难些,但是我们认为会更好。因为大多数学生过于依赖这些函数,而并不太在意课本或教师要讲授给他们什么。为什么当学生使用绘制透视投影图或执行光照计算的 OpenGL 内置函数就感到畏惧呢?现在,这些函数没有了,学生们不得不自己编写着色器来完成这些任务,这样他们就必须首先理解计算机图形学的基本原理和相关的数学基础。

自顶向下的方法

图形学的新进展以及本书前 5 个版本的成功一直鞭策着我们坚持采用自顶向下的、面向程序设计的方法来介绍计算机图形学。虽然许多计算机科学与工程系现在开设了多门计算机图形学课程,但是大多数学生只选修一门。在学生们学习了程序设计、数据结构、算法、软件工程和基础数学以后给他们安排一门图形学课程,应允许教师以内容充实并且有趣的方式按上述已学课程来组织计算机图形学课程,我们希望这些学生学习这门课程时尽可能早地编写出三维应用程序。底层的算法,例如绘制线段或者填充多边形,可以在学生们编写了图形程序之后再考虑。

计算机教育的先驱 John Kemeny 曾经把自顶向下的编程方法与我们熟悉的汽车来类比:你没必要知道汽车罩下面是什么,但是如果知道内部的工作原理,你就会去驾驶汽车而不是坐在汽车后座上。同样的类比适用于讲授计算机图形学的方法。第一种方法(算法的方法)是把汽车工作原理的方方面面都交代清楚:发动机、传动装置、燃烧过程等;第二种方法(概览的方法)是雇一名司机,自己坐在后面观光;第三种方法(本书采用的编程方法)是教会你如何驾驶并把车开到你想要去的地方,正如一句过时的租赁广告词说的那样:“让我们把你放在驾驶员的位子上去”。

使用 OpenGL 和 C++ 语言编程

当本书的第一作者 Edward Angel 在 25 年前开始讲授计算机图形学的时候,当时以面向编程的方式讲授这门课程并编写相应教材的最大障碍是缺乏一个广泛接受的图形库或者应用程序编程接口(API)。遇到的困难包括:高成本、可用性受限、缺乏通用性以及高复杂性。OpenGL 的开发解决了我们中很多人在其他 API(例如 GKS 和 PHIGS)中遇到的以及在使用自己编写的软件作为替代时所面临的大多数困难,今天所有的平台都支持 OpenGL,它已和 Microsoft Windows 以及 Mac OS X 操作系统集成在一起。实际上所有的图形卡都有驱动程序,在大多数 Linux 发行版中也都包含一个称为 Mesa 的 OpenGL API。

一门图形学的课程远远不能仅讲授如何使用一种特定的 API,一种好的 API 应使得讲授图形学中的一些关键内容变得更容易,这些内容包括三维图形学、光照和明暗处理、客户/服务器图形系统、建模以及实现算法。我们相信,OpenGL 的扩展功能以及良好定义的结构可以为讲授图形学理论和实践这两方面提供了更好的基础,而且 OpenGL 同样也可以为讲授包括纹理映射、图像融合以及可编程着色器在内的一些高级概念提供更好的基础。

大约 15 年以前 Edward Angel 就开始在授课时使用 OpenGL,结果令他欣喜若狂。在那个学期的期中之前,所有的学生就都能编写出中等复杂程度的三维图形程序,而编写这样的程序需要理解三维显示和事件驱动输入。在这之前几年的计算机图形学教学中,Edward Angel 从未收到过如此好的教学效果,那次课程孕育出了本书的第一版。

本书是关于计算机图形学的教科书,并不是 OpenGL 使用手册。因此,没有把 OpenGL API 的

方方面面都一一介绍,而是仅仅解释了对于掌握本书内容来说必要的那些部分。因而,本书在介绍 OpenGL 时的定位是允许其他 API 用户毫无困难地阅读本书的内容。

与前几个版本相比,这一版使用 C++ 代替 C 语言作为占主导地位的编程语言,主要原因是必须用 OpenGL 着色语言(GLSL)来编写着色器,而着色器是控制 GPU 的程序。GLSL 是一个类似于 C 的语言,包括向量和矩阵的原子数据类型,以及操作它们的基本运算符的重载。OpenGL 的所有现代版本要求每一个应用程序提供两个着色器,因此学生需要使用这些特征,它们可以支持 C++。只通过使用 C++ 的这部分(简单类、构造函数、重载操作符)内容,我们就可以实现基本图形概念,如变换和光照,无论是 OpenGL 应用程序还是着色器几乎都是完全相同的代码。此外,使用本书网站提供的简单矩阵类和向量类可以编写出更加清晰、简洁的代码。学习 Java 或 C 语言的学生理解本书中的代码应该没什么困难。

适用的读者

本书适用于计算机科学和工程专业的高年级本科生和一年级研究生,以及具有良好程序设计能力的其他专业学生。本书对于许多专业人员也是有价值的。我们已经成功地为专业人员讲授了 100 多次短期课程,从这些非传统意义的学生身上获得的经验极大地影响了本书的内容。

在阅读本书之前,读者应该熟练掌握 C++、Java 或者 C 语言,理解链表和树等基本数据结构并具有线性代数和三角学的初步知识。我们发现计算机专业学生的数学背景相差很大,不管是本科生还是研究生都是如此。因此,本书包含了很多计算机基础图形学所需的线性代数和几何学知识。

本书的内容组织

本书内容组织如下:第1章概览整个图形学领域并介绍了基于光学设备的图像生成,这样从一开始就引入了三维图形学的概念。第2章介绍 OpenGL 编程,虽然编写的第一个示例程序是二维的(每一章都有一个或者多个完整的编程示例),但是这个程序是嵌入在三维环境下编写的,并且可以扩展到三维。这一章还介绍交互式图形学以及基于事件驱动的图形程序开发。第3章和第4章讨论三维图形学概念,第3章讨论如何定义和处理三维对象,而第4章讨论如何观察它们。第5章介绍光线和材质之间的相互作用以及明暗绘制。这5章应该按顺序讲授,在一个总共15周的学期里,大约10周可以讲完这些内容。

后面的6章可以按照任何顺序阅读。所有这6章都或多或少是开放式的,读者可以概览,也可以深究其中的一些课题。第6章讨论光栅化,对三维图形绘制流水线中的每个基本步骤都给出了一种或两种主要算法,这些基本步骤包括裁剪、直线段生成和多边形填充。第7章介绍目前图形硬件和 OpenGL 所支持的许多新的离散技术,所有这些技术都需要与各种缓存打交道,这一章以简单讨论计算机图形学中的走样问题而结束。第6章和第7章讨论了用于所有交互式图形系统的标准观察流水线。

第8章包含层级建模主题中的若干松散内容,涉及从层级模型(封装了各部分之间联系的模型)的构造到互联网图形绘制的高级方法。这一章包括对场景图和开放场景图(OSG)的介绍。第9章介绍若干过程方法,包括粒子系统、分形和过程噪声。第10章讨论曲线和曲面,包括细分曲面。第11章介绍其他一些高绘制方法,进一步讨论了光线跟踪和辐射度方法,还介绍了基于图像的绘制和并行绘制。

附录 A 主要是本书第一部分的程序,它们也可以从网上得到(参看辅助资料),附录 B 和附录 C 包含对背景数学知识的回顾,附录 D 包括本书用到的 OpenGL 函数一览。

相对第五版的变化

读者对于本书前 5 版的绝大多数评价都是肯定的,特别是对于采用 OpenGL 和自顶向下的方法更是如此。虽然每版都增加材料以反映图形学领域的最新进展,但是第五版做了重大改变,引入了可编程着色器和 OpenGL 着色语言。这部分材料不是必需的,因为现有 OpenGL 版本向后兼容。好在大多数教师主要选择前 6 章的内容,并不讲授可编程着色器。

正像我们在本版前言开始所指出,使用新版本的 OpenGL,每一个应用程序都必须提供着色器。与早期版本相比大部分基本函数已被弃用,包括指定几何体、变换和光照参数的函数。因此,可编程着色器及 GLSL 需要在第 2 章介绍,与以前的版本相比,虽然第六版中的许多示例程序产生相同的输出结果,但代码完全不同。

第六版将有关图形交互的核心内容合并到了第 2 章,而不再将输入和交互作为单独一章。这样,第 2 章篇幅虽然变得稍微有些长,但与先前的版本相比,我们认为增加的可编程着色器内容只是稍微延迟了布置第一次编程练习作业。

可编程着色器使应用程序编程人员面临一种选择,他们需要考虑是在 OpenGL 应用程序中还是在着色器中实现大部分核心的图形绘制功能。本版重新组织了某些材料以便集中介绍与某个特定主题相关的可选内容。例如,分别在 OpenGL 应用程序中、顶点着色器中以及片元着色器中进行光照计算的内容都集中放在了第 5 章介绍。

读者对以前版本中第 1 章到第 6 章的核心内容反映很好,所以本版尽量保持这些章节的内容(新版为第 1 章至第 5 章),使其改变降到最低。本版仍将第 1 章至第 5 章视为计算机图形学导论课程的核心内容,第 6 章至第 11 章可以按任何顺序来使用,既可以作为一个学期的概论课,也可以作为顺序开设的两个学期的课程内容。

辅助资料

在作者的网站 www.cs.unm.edu/~angel 和 Addison-Wesley 出版社的网站 www.aw.com/cs-support 上都可以找到本书的辅助资料。所有读者都可以获得下面的辅助资料^①:

- 关于 OpenGL 的资源信息
- 在大多数流行的系统上使用 OpenGL 进行编程的操作指南
- 编写具有更强鲁棒性 OpenGL 应用程序的附加材料
- 程序代码
- 部分习题答案
- PowerPoint 讲稿
- 书中的插图

还有一些辅助资料,包括所有非程序设计习题的解答,仅提供给采用本书做教材的教师使用。请与 Addison-Wesley 出版社代理联系,以获取使用这些资料的信息。

^① 有关本书教辅资料的获取方法请参阅书后所附的《教辅支持说明》——编者注。

致谢

在过去的几年中,Edward Angel 有幸在新墨西哥大学遇到了许多优秀的学生,是他们最早使他对 OpenGL 产生了兴趣,从他们那里 Edward Angel 学到了很多。这些学生包括:Hue (Bumgarner-Kirby) Walker、Ye Cong、Pat Crossno、Tommie Daniel、Chris Davis、Lisa Desjarlais、Kim Edlund、Lee Ann Fisk、Maria Gallegos、Brian Jones、Christopher Jordan、Max Hazelrigg、Sheryl Hurley、Thomas Keller、Ge Li、Pat McCormick、Al McPherson、Ken Moreland、Martin Muller、David Munich、Jim Pinkerton、Jim Prewett、Dave Rogers、Hal Smyer、Takeshi Hakamata、Dave Vick、Brian Wylie 和 Jin Xiong,许多彩图中的例子都出自这些学生。

本书第一版是 Edward Angel 在休假期间撰写的,他在 5 个不同的国家完成了本书。如果没有若干人士以及若干大学、研究机构给他提供的帮助,该书是完不成的,他们给他提供了便利。衷心感谢委内瑞拉安第斯大学(Universidad de los Andes)的 Jonas Montilva 和 Chris Birkbeck、厄瓜多尔天球赤道理工大学(Universidad Tecnologica Equinoccial)的 Rodrigo Gallegos 和 Aristides Novoa、中国台湾清华大学的 Long Wen Chang、中国香港中文大学的 Kin Hong Wong 和 Pheng Ann Heng。Edward Angel 到许多地方的参观访问都得益于国际超导技术中心(ISTEC)和新墨西哥大学(The University of New Mexico)的 Ramiro Jordan 的帮忙。无论 Edward Angel 何时有问题,新墨西哥大学的 John Brayer 和 Jason Stewart、Addison-Wesley 出版社的 Helen Goldstein 都设法帮他解决。Edward Angel 的网站上描述了写作第一版的经历。

NVIDIA 公司的 David Kirk 和 Mark Kilgard 慷慨地为测试很多算法提供了显卡。还应感谢许多给予了极大帮助的人士,他们是 Ben Bederson、Gonzalo Cartagenova、Tom Caudell、Kathi Collins、Kathleen Danielson、Roger Ehrich、Robert Geist、Chuck Hansen、Mark Henne、Bernard Moret、Dick Nordhaus、Helena Saona、Dave Shreiner、Vicki Shreiner、Gwen Sylvan 和 Mason Woo。承蒙 OpenGL 协会的 Mark Kilgard、Brian Paul 和 Nate Robins 的极大帮助,他们编写了能使 OpenGL 代码在各种平台上都可以开发的软件。

新墨西哥大学的艺术、研究、技术和科学实验室(ARTS Lab)以及高性能计算中心对 Edward Angel 的许多项目提供了支持,计算机科学系、美术学院的艺术技术中心、美国国家科学基金、Sandia 国家实验室和 Los Alamos 国家实验室资助了许多 Edward Angel 的学生和研究项目,本书的部分内容就来自这些研究项目中的一部分。曾在北极星天文馆现在 ARTS 实验室的 David Beining 为 FullDome 项目提供了极大的支持,Sheryl Hurley、Christopher Jordan、Laurel Ladwig、Jon Strawn 和 Hue (Bumgarner-Kirby) Walker 通过 FullDome 项目提供了本书彩图中的一些图像。Hue Walker 为前三个版本设计了精美的封面,她的画面是本版封面的基础。

本书的第二作者 Dave Shreiner 首先感谢 Edward Angel 邀他参与了该书的写作。我们彼此交换自己对 OpenGL 的看法以及如何开展教学已多年,把那些概念教给新学生是很令人兴奋的。Dave Shreiner 也首先感谢曾在硅图形计算机系统工作过的同事们、创建 OpenGL 的同事们,以及一直研究 API 的 Khronos 组织的 OpenGL 工作组。就像 Edward Angel 所说,ACM SIGGRAPH 显然在开发这些材料中起到了重要作用,对于该组织能为探索我们的想法所提供的热点研究题目不胜感激。

评阅人在本书应该包括哪些内容和应该介绍到什么程度这两方面提出了各种各样的看法,先前版本的评阅人包括:Gur Saran Adhar(北卡罗来纳大学威明顿分校)、Mario Agrular(杰克逊维尔州立大学)、Michael Anderson(哈特福德大学)、C. S. Bauer(中佛罗里达大学)、Marty Barrett(东田纳西州立大学)、Kabekode V. Bhat(宾夕法尼亚州立大学)、Eric Brown 和 Robert P. Burton(杨伯翰

大学)、Sam Buss(加利福尼亚大学圣迭戈分校)、Kai H. Chang(奥本大学)、Ron DiNapoli(康奈尔大学)、Eric Alan Durant(密尔瓦基工程学校)、David S. Ebert(普度大学)、Richard R. Eckert(宾汉姆顿大学)、Jianchao(Jack) Han(加利福尼亚州立大学多明格兹分校)、Chenyi Hu(阿肯色中央大学)、Mark Kilgard(NVIDIA 公司)、Lisa B. Lancor(南康涅狄格州立大学)、Chung Lee(加州波莫纳理工大学)、John L. Lowther(密歇根理工大学)、R. Marshall(波士顿大学和桥水大学)、Hugh C. Masterman(马塞诸塞大学洛威尔分校)、Bruce A. Maxwell(史威特摩尔学院)、James R. Miller(堪萨斯大学)、Rodrigo Obando(哥伦布州立大学)、Andrea Salgian(新泽西学院)、Lori L. Scarlatos(纽约城市大学布鲁克林学院)、Han-Wei Shen(俄亥俄州立大学)、Oliver Staadt(加州大学戴维斯分校)、Stephen L. Stepoway(南卫理公会大学)、Bill Toll(泰勒大学)、Michael Wainer(南伊利诺伊大学卡本戴尔分校)、Yang Wang(南卫理公会大学)、Steve Warren(堪萨斯州立大学)、Mike Way(佛罗里达南方学院)、George Wolberg(纽约城市大学)、Xiaoyu Zhang(加州州立大学圣马科斯分校)、Ye Zhao(肯特州立大学)和 Ying Zhu(佐治亚州立大学),虽然最后的定稿可能没有反映出他们的意见(因为有些意见彼此相左),但每位评阅人的意见都鞭策着我们反思书稿的每一页内容。

本版评阅人给予了极大的帮助和支持,他们是:Norman I. Badler(宾夕法尼亚大学)、Mike Bailey(俄勒冈州立大学)、Bedrich Benes(普度大学)、Isabelle Bichindaritz(华盛顿大学塔科马分校)、Cory D. Boatright(宾夕法尼亚大学)、Eric Brown 和 James Cremer(艾奥瓦大学)、John David N. Dionisio(洛约拉玛莉曼特大学)、W Randolph Franklin(伦斯勒理工学院)、Natacha Gueorguieva(纽约城市大学/纽约市立大学斯坦顿岛学院)、George Kamberov(史蒂文斯理工学院)、Hugh Masterman(马塞诸塞大学洛威尔分校)、Tim McGraw(西弗吉尼亚大学)、Jon A. Preston(南方理工大学)和 Bill Toll(泰勒大学)。请他们评阅本书并不是他们的课内之事,若要适应本书就得明显地变动他们的课程,他们每位都认识到我们方法的重要性,并愿意采用本教材。

我们同样感谢 Addison-Wesley 出版社的整个出版团队。在本书的 6 个版本和《OpenGL 程序设计指南》的出版过程中,Edward Angel 与 Peter Gordon、Maite Suarez-Rivas 和 Matt Goldstein 三位编辑合作得非常愉快。在本书全部 6 个版本的出版时,Paul Anagnostopoulos 一直帮助解决使用 Windfall Software 工具时的排版问题,帮助之大溢于言表。Edward Angel 要特别感谢编辑 Lyn Dupré,如果读者看到第一版的原稿,就会惊叹于 Lyn Dupré 的妙笔神功。

Edward Angel 在此要特别鸣谢妻子 Rose Mary Molnar,她为本书第一版制作了插图,其中许多插图构成了本书插图的基础。也许只有经历过图书出版过程并撰写过许多文稿的人以及为出版工作做出过贡献的人才能充分理解写书过程的艰辛。真诚地把本书献给 Rose Mary,尽管这仍不足以表达 Edward Angel 对妻子所有贡献的谢意。

Dave Shreiner 感激妻子 Vicki 的支持和鼓励,没有她,本书创造性的成果不会展现给读者,她不仅给予 Dave Shreiner 温暖,陪伴左右,而且对本书的描述和素材提出了珍贵意见。在 Dave Shreiner 对 OpenGL 的所有研究中,她都称得上是一个不可多得的幕后搭档。

Edward Angel
Dave Shreiner

目 录

第 1 章 图形系统和模型	1
1.1 计算机图形学的应用	1
1.2 图形系统	3
1.3 物理图像与合成图像	11
1.4 成像系统	14
1.5 虚拟照相机模型	17
1.6 应用程序编程接口	18
1.7 图形绘制系统的体系结构	23
1.8 可编程流水线	26
1.9 性能特征	27
小结和注释	28
建议阅读资料	28
习题	29
第 2 章 图形学编程	31
2.1 Sierpinski 镂垫	31
2.2 编写二维图形应用程序	33
2.3 OpenGL 应用程序编程接口	36
2.4 图元和属性	40
2.5 颜色	48
2.6 观察	53
2.7 控制函数	55
2.8 Sierpinski 镂垫绘制程序	59
2.9 多边形和递归	63
2.10 三维 Sierpinski 镂垫	65
2.11 增加交互性	70
2.12 菜单	76
小结和注释	77
建议阅读资料	78
习题	79
第 3 章 几何对象和变换	82
3.1 标量、点和向量	82
3.2 三维图元	89
3.3 坐标系和标架	90
3.4 OpenGL 中的标架	100

3.5	矩阵和向量类	103
3.6	建模一个彩色立方体	104
3.7	仿射变换	109
3.8	平移、旋转和缩放	111
3.9	变换的齐次坐标表示	114
3.10	变换的级联	117
3.11	OpenGL 变换矩阵	123
3.12	使立方体旋转起来	125
3.13	三维应用程序的接口	128
3.14	四元数	132
	小结和注释	134
	建议阅读资料	135
	习题	135
第 4 章	观察	138
4.1	经典观察和计算机观察	138
4.2	计算机观察	142
4.3	定位照相机	143
4.4	平行投影	151
4.5	透视投影	158
4.6	OpenGL 中的透视投影	161
4.7	透视投影变换矩阵	162
4.8	隐藏面消除	166
4.9	显示网格	168
4.10	投影和阴影	174
	小结和注释	176
	建议阅读资料	177
	习题	177
第 5 章	光照和明暗绘制	179
5.1	光线和材质	179
5.2	光源	181
5.3	Phong 反射模型	184
5.4	计算向量	190
5.5	多边形的明暗绘制	192
5.6	通过递归细分逼近球面	195
5.7	指定光照参数	197
5.8	实现光照模型	200
5.9	球面模型的明暗绘制	206
5.10	基于每个片元的光照计算	207
5.11	全局光照	208
	小结和注释	210

建议阅读资料	210
习题	211
第 6 章 从顶点到片元	213
6.1 图形绘制流水线的基本实现策略	213
6.2 图形绘制系统的四个主要任务	215
6.3 裁剪	218
6.4 线段的裁剪	218
6.5 多边形的裁剪	221
6.6 其他图元的裁剪	224
6.7 三维裁剪	226
6.8 光栅化	228
6.9 Bresenham 算法	230
6.10 多边形光栅化算法	231
6.11 隐藏面消除	235
6.12 反走样	243
6.13 显示方面的问题	244
小结和注释	249
建议阅读资料	250
习题	250
第 7 章 离散技术	253
7.1 缓存	253
7.2 数字图像	254
7.3 缓存的写操作	256
7.4 映射方法	258
7.5 纹理映射	260
7.6 OpenGL 的纹理映射	264
7.7 纹理生成	274
7.8 环境贴图	274
7.9 反射贴图示例程序	277
7.10 凹凸映射	279
7.11 合成技术	285
7.12 采样与走样	291
小结和注释	296
建议阅读资料	297
习题	297
第 8 章 层级建模方法	299
8.1 图符和实例	299
8.2 层级模型	300
8.3 机器人手臂	302
8.4 树与树的遍历	305

8.5 使用树形数据结构	308
8.6 动画	311
8.7 图形对象	313
8.8 场景图	317
8.9 开放场景图	319
8.10 图形和因特网	320
8.11 其他树形结构	322
小结和注释	326
建议阅读资料	326
习题	327
第9章 过程建模方法	328
9.1 基于算法的建模	328
9.2 基于物理的建模和粒子系统	329
9.3 牛顿粒子	330
9.4 求解粒子系统方程	334
9.5 约束条件	336
9.6 一个简单的粒子系统	338
9.7 基于语言的建模	341
9.8 递归方法和分形	344
9.9 过程噪声	350
小结和注释	352
建议阅读资料	352
习题	353
第10章 曲线和曲面	354
10.1 曲线和曲面的表示形式	354
10.2 设计准则	358
10.3 三次参数多项式曲线	359
10.4 插值	359
10.5 Hermite 曲线和曲面	363
10.6 Bézier 曲线和曲面	365
10.7 三次 B 样条	368
10.8 普通 B 样条	371
10.9 曲线和曲面的绘制	375
10.10 Utah 茶壶模型	379
10.11 代数曲面	381
10.12 曲线和曲面的细分	382
10.13 从数据生成网格	385
小结和注释	388
建议阅读资料	388
习题	389