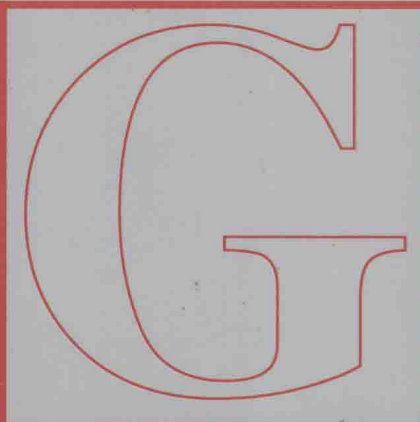


21世纪高等学校计算机**专业**实用规划教材

# 计算机图形学原理 及算法教程 (Visual C++版) (第二版)



和青芳 编著  
鲍泓 主审



清华大学出版社

21 世纪高等学校计算机**专业**实用规划教材

# 计算机图形学原理 及算法教程 (Visual C++版) (第二版)

和青芳 编著 鲍泓 主审

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书在系统介绍计算机图形学算法及原理的基础上,利用 Visual C++ 开发环境,编写相应的应用程序,较全面地把计算机图形学理论与计算机绘图的实践结合起来。

本书共 11 章,包括基本图形的生成、二维图形、图形交互技术、简单 CAD 绘图系统开发实例、三维图形、曲线与曲面、几何造型、消隐技术、真实感图形绘制及计算机动画等内容。

本书可作为高等院校计算机图形学理论课程教材、上机教材或工程技术人员自学计算机图形学和 Visual C++ 的参考书,也可作为计算机图形学教师理论教学参考书和课程设计的素材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

## 图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学原理及算法教程: Visual C++ 版/和青芳编著. —2 版. —北京:清华大学出版社,2010.1

(21 世纪高等学校计算机专业实用规划教材)

ISBN 978-7-302-20241-7

I. 计… II. 和… III. ①语言—计算机图形学—高等学校—教材 IV. TP391.41 TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 081613 号

责任编辑:魏江江

责任校对:李建庄

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:20.75 字 数:502 千字

版 次:2005 年 12 月第 1 版 2010 年 1 月第 2 版 印 次:2010 年 1 月第 1 次印刷

印 数:10501~13500

定 价:29.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:031103-01

# 编审委员会成员

(按地区排序)

清华大学

周立柱 教授  
覃 征 教授  
王建民 教授  
刘 强 副教授  
冯建华 副教授

北京大学

杨冬青 教授  
陈 钟 教授  
陈立军 副教授

北京航空航天大学

马殿富 教授  
吴超英 副教授  
姚淑珍 教授

中国人民大学

王 珊 教授  
孟小峰 教授  
陈 红 教授

北京师范大学

周明全 教授

北京交通大学

阮秋琦 教授

北京信息工程学院

孟庆昌 教授

北京科技大学

杨炳儒 教授

石油大学

陈 明 教授

天津大学

艾德才 教授

复旦大学

吴立德 教授

吴百锋 教授

杨卫东 副教授

同济大学

苗夺谦 教授

徐 安 教授

张惠娟 副教授

华东理工大学

邵志清 教授

华东师范大学

杨宗源 教授

应吉康 教授

上海大学

陆 铭 副教授

东华大学

乐嘉锦 教授

孙 莉 副教授

|          |     |     |
|----------|-----|-----|
| 浙江大学     | 吴朝晖 | 教授  |
|          | 李善平 | 教授  |
| 南京大学     | 骆 斌 | 教授  |
|          | 黄 强 | 副教授 |
| 南京航空航天大学 | 黄志球 | 教授  |
|          | 秦小麟 | 教授  |
| 南京理工大学   | 张功萱 | 教授  |
| 南京邮电学院   | 朱秀昌 | 教授  |
| 苏州大学     | 龚声蓉 | 教授  |
|          | 陈建明 | 副教授 |
| 江苏大学     | 宋余庆 | 教授  |
| 武汉大学     | 何炎祥 | 教授  |
| 华中科技大学   | 刘乐善 | 教授  |
| 中南财经政法大学 | 刘腾红 | 教授  |
| 华中师范大学   | 叶俊民 | 教授  |
|          | 郑世珏 | 教授  |
| 国防科技大学   | 赵克佳 | 教授  |
|          | 肖 依 | 副教授 |
| 中南大学     | 陈松乔 | 教授  |
|          | 刘卫国 | 教授  |
| 湖南大学     | 林亚平 | 教授  |
|          | 邹北骥 | 教授  |
| 西安交通大学   | 沈钧毅 | 教授  |
|          | 齐 勇 | 教授  |
| 长安大学     | 巨永峰 | 教授  |
| 哈尔滨工业大学  | 郭茂祖 | 教授  |
| 吉林大学     | 徐一平 | 教授  |
|          | 毕 强 | 教授  |
| 山东大学     | 孟祥旭 | 教授  |
|          | 郝兴伟 | 教授  |
| 中山大学     | 潘小轰 | 教授  |
| 厦门大学     | 冯少荣 | 教授  |
| 云南大学     | 刘惟一 | 教授  |
| 电子科技大学   | 刘乃琦 | 教授  |
|          | 罗 蕾 | 教授  |
| 重庆邮电学院   | 王国胤 | 教授  |
| 西南交通大学   | 曾华燊 | 教授  |
|          | 杨 燕 | 副教授 |

# 出版说明

---

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和教学方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程(简称‘质量工程’)”,通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

本系列教材立足于计算机专业课程领域,以专业基础课为主、专业课为辅,横向满足高校多层次教学的需要。在规划过程中体现了如下一些基本原则和特点。

(1) 反映计算机学科的最新发展,总结近年来计算机专业教学的最新成果。内容先进,充分吸收国外先进成果和理念。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材要适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向,融合先进的教学思想、方法和手段,体现科学性、先进性和系统性,强调对学生实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略,突出重点,保证质量。规划教材把重点放在公共基础课和专业基础课的教材建设上;特别注意选择并安排一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版,逐步形成精品教材;提倡并鼓励编写体现教学质量和教学改革成果的教材。

(4) 主张一纲多本,合理配套。专业基础课和专业课教材配套,同一门课程有针对不同层次、面向不同应用的多本具有各自内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化,基本教材与辅助教材、教学参考书,文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源配套。

(5) 依靠专家,择优选用。在制定教材规划时要依靠各课程专家在调查研究本课程教

材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,要引入竞争机制,通过申报、评审确定主题。书稿完成后要认真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平教材编写梯队才能保证教材的编写质量和建设力度,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

21 世纪高等学校计算机专业实用规划教材

联系人:魏江江 weijj@tup.tsinghua.edu.cn

# 第二版前言

---

计算机图形技术是随着计算机技术在图形处理领域中的应用而发展起来的一门新技术,是伴随着电子计算机及其外围设备的发展而产生的,现已成为计算机应用科学中的一个重要分支,在许多行业中起着越来越大的作用。这必然促使计算机专业人员、广大非计算机专业的应用人员,从计算机图形学的理论高度和计算机绘图的实用角度来研究和开发计算机图形的生成技术及软件。在多年的教学、科研和技术开发工作中,我们深刻地体会到:计算机图形学的原理和算法是开发图形软件的基础,对高级语言中绘图工具的掌握是理解和应用计算机图形理论的翅膀。只有扎实的计算机图形学理论基础,才能开发图形软件;必须灵活运用高级语言中的绘图能力才能开发出优质的图形软件。基于这些体会,作者认为很有必要编写出版这样的一本书,把计算机图形学理论与计算机绘图的实践结合起来,在计算机理论与交互式图形软件设计之间架起一座桥梁,对图形学的理论和方法尽量用简明的算法程序描述出来,掌握用 Visual C++ 开发工具进行交互式图形软件的设计,使学习者在掌握理论和实用知识两方面均感到应用自如。

基于上述想法完成的本书第一版于 2006 年一月出版发行,这种新的模式获得了读者和一线教师的认可。出版以来收到许多热心读者和教师的来信,他们在肯定本书的同时,也坦诚地告知使用本书的个人体会、意见和建议,笔者深感期待之重。今受出版社之托,修订此书。二版根据教学大纲及教师教学反馈进行了增删或进一步的说明、对个别章节顺序作了调整,并对一版中的个别文字或符号错误作了修正。在此,对本书提出过意见和建议的同仁表示感谢,希望修订版能再次得到大家的支持,并提出批评和指正,以期她的不断完善、更加贴近当前计算机图形学教学与发展需要。

本书从计算机图形学的基本图形生成讲起,采取循序渐进的内容安排,介绍计算机图形学的有关原理、算法,由简单到复杂、由二维至三维,理论与实践相结合,对所论述的算法或原理给出了 Visual C++ 详尽的程序设计过程。书中范例的许多算法与理论篇中的内容不尽相同,学习者须按照书中的讲解,将这些 Visual C++ 程序移植到范例中去,举一反三,就可容易地在计算机上得到验证与提高,从而为深入理解图形学原理提供重要的保证,并为今后的计算机图形学应用打下坚实的实践基础和编程积累。

本书要求学习者有线性代数和 Visual C++ 基础知识。读者可根据自身情况,在 Visual C++ 开发环境中上机练习,掌握和应用图形学的各种算法,并试着开发一些具有实用性的小型绘图软件。

本书为北京市属高等学校人才强教计划资助项目,由和青芳主编,参加本书部分编写工作的人员还有周四新、何娟、倪景秀、穆艳玲、雷霞、刘静、张曙光、刘会芳、王雪娟、李天杰、刘铎等,在此一并致谢。

由于作者水平有限,书中难免存在缺点和不足,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2009 年 11 月

# 目 录

---

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论                                   | 1  |
| 1.1 计算机图形学的概念及其发展历史                        | 1  |
| 1.2 计算机图形学发展史                              | 2  |
| 1.3 计算机图形系统                                | 3  |
| 1.3.1 计算机图形系统简介                            | 3  |
| 1.3.2 显示器                                  | 4  |
| 1.4 计算机图形学的应用                              | 5  |
| 练习题                                        | 8  |
| 第 2 章 交互式绘图软件开发设计                          | 10 |
| 2.1 计算机交互式技术设计                             | 10 |
| 2.1.1 交互式绘图技术                              | 10 |
| 2.1.2 用户接口设计                               | 11 |
| 2.2 Visual C++ 系统基本绘图知识                    | 12 |
| 2.2.1 Visual C++ 开发环境简介                    | 12 |
| 2.2.2 Visual C++ 6.0 运行界面                  | 13 |
| 2.2.3 使用 AppWizard 快速生成程序框架                | 14 |
| 2.2.4 界面设计与资源编辑器                           | 18 |
| 2.2.5 利用 ClassWizard 添加新类、消息处理函数、成员函数、成员变量 | 18 |
| 2.2.6 绘图知识                                 | 22 |
| 2.3 绘图软件交互式设计                              | 31 |
| 2.3.1 程序设计功能说明                             | 31 |
| 2.3.2 程序设计步骤                               | 32 |
| 练习题                                        | 38 |
| 第 3 章 基本图形的生成                              | 39 |
| 3.1 直线                                     | 39 |
| 3.1.1 DDA(数值微分)画线算法                        | 39 |
| 3.1.2 中点画线算法                               | 40 |
| 3.1.3 Bresenham 画线算法                       | 41 |

|              |                      |           |
|--------------|----------------------|-----------|
| 3.1.4        | 程序设计 .....           | 42        |
| 3.2          | 圆 .....              | 44        |
| 3.2.1        | 直角坐标画圆算法 .....       | 44        |
| 3.2.2        | 中点画圆算法 .....         | 45        |
| 3.2.3        | Bresenham 画圆算法 ..... | 45        |
| 3.3          | 椭圆扫描转换中点算法 .....     | 48        |
| 3.4          | 多边形的扫描转换与区域填充 .....  | 50        |
| 3.4.1        | 多边形的扫描转换 .....       | 50        |
| 3.4.2        | 区域填充算法 .....         | 52        |
| 3.5          | 字符的生成 .....          | 57        |
| 3.5.1        | 点阵字符 .....           | 58        |
| 3.5.2        | 矢量字符 .....           | 58        |
| 3.5.3        | 字符属性 .....           | 58        |
| 3.6          | 图形裁剪 .....           | 59        |
| 3.6.1        | 线裁剪 .....            | 59        |
| 3.6.2        | 多边形裁剪 .....          | 60        |
| 3.6.3        | 字符裁剪 .....           | 61        |
| 3.6.4        | 图形裁剪编程 .....         | 61        |
|              | 练习题 .....            | 72        |
| <b>第 4 章</b> | <b>二维图形 .....</b>    | <b>73</b> |
| 4.1          | 用户坐标到屏幕坐标的变换 .....   | 73        |
| 4.1.1        | 窗口到视口的变换内容 .....     | 74        |
| 4.1.2        | 窗口区到视口区的坐标变换 .....   | 74        |
| 4.2          | 二维几何变换 .....         | 74        |
| 4.2.1        | 基本变换 .....           | 75        |
| 4.2.2        | 二维几何变换的级联 .....      | 77        |
| 4.3          | 几何变换程序设计案例 .....     | 79        |
| 4.4          | 平面曲线图 .....          | 88        |
| 4.4.1        | 正叶线 .....            | 89        |
| 4.4.2        | 正叶线蝴蝶结 .....         | 89        |
| 4.5          | 平面曲线程序设计案例 .....     | 89        |
|              | 练习题 .....            | 92        |
| <b>第 5 章</b> | <b>三维图形变换 .....</b>  | <b>93</b> |
| 5.1          | 三维图形几何变换矩阵 .....     | 93        |
| 5.2          | 三维图形基本变换矩阵 .....     | 93        |
| 5.2.1        | 平移变换 .....           | 93        |
| 5.2.2        | 比例变换 .....           | 94        |

|              |                     |            |
|--------------|---------------------|------------|
| 5.2.3        | 绕坐标轴的旋转变换 .....     | 94         |
| 5.2.4        | 对称变换 .....          | 96         |
| 5.2.5        | 错切变换 .....          | 97         |
| 5.3          | 图形的投影变换 .....       | 98         |
| 5.3.1        | 投影变换分类 .....        | 98         |
| 5.3.2        | 平行投影 .....          | 98         |
| 5.3.3        | 透视投影 .....          | 100        |
| 5.4          | 三维变换程序设计案例 .....    | 102        |
|              | 练习题 .....           | 126        |
| <b>第 6 章</b> | <b>曲线和曲面 .....</b>  | <b>127</b> |
| 6.1          | 曲线曲面参数表示的基础知识 ..... | 127        |
| 6.1.1        | 非参数表示和参数表示 .....    | 127        |
| 6.1.2        | 参数表示的基本特征 .....     | 128        |
| 6.1.3        | 曲线段之间的连续性 .....     | 130        |
| 6.1.4        | 曲线曲面设计中的几个概念 .....  | 130        |
| 6.2          | 常用参数曲线 .....        | 131        |
| 6.2.1        | 一般规则空间曲线 .....      | 131        |
| 6.2.2        | 贝塞尔曲线 .....         | 131        |
| 6.2.3        | B 样条曲线 .....        | 136        |
| 6.3          | 参数曲面 .....          | 142        |
| 6.3.1        | 函数式曲面 .....         | 142        |
| 6.3.2        | 旋转曲面 .....          | 142        |
| 6.4          | 常用曲面 .....          | 143        |
| 6.4.1        | 双曲线曲面 .....         | 143        |
| 6.4.2        | Bezier 曲面 .....     | 144        |
| 6.4.3        | B 样条曲面 .....        | 146        |
| 6.5          | 曲面与曲线编程案例 .....     | 147        |
|              | 练习题 .....           | 170        |
| <b>第 7 章</b> | <b>几何造型技术 .....</b> | <b>171</b> |
| 7.1          | 实体的表示模型 .....       | 171        |
| 7.1.1        | 分解表示 .....          | 172        |
| 7.1.2        | 构造表示 .....          | 173        |
| 7.1.3        | 边界表示 .....          | 174        |
| 7.1.4        | 形体的边界表示模型 .....     | 175        |
| 7.2          | 求交分类 .....          | 176        |
| 7.2.1        | 求交分类 .....          | 177        |
| 7.2.2        | 基本的求交算法 .....       | 177        |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 7.3 图形相交-相切程序设计案例 .....      | 180 |
| 7.4 非传统造型技术 .....            | 193 |
| 7.4.1 基本概念 .....             | 193 |
| 7.4.2 分形造型对模型的基本要求 .....     | 193 |
| 7.4.3 分形造型的常用模型 .....        | 194 |
| 7.5 分形造型应用 .....             | 194 |
| 7.6 分形造型编程设计 .....           | 195 |
| 练习题 .....                    | 208 |
| <b>第8章 消隐</b> .....          | 209 |
| 8.1 线消隐 .....                | 209 |
| 8.2 面消隐 .....                | 210 |
| 8.2.1 区域排序算法基本思想 .....       | 210 |
| 8.2.2 深度缓存(Z-buffer)算法 ..... | 211 |
| 8.2.3 扫描线算法 .....            | 211 |
| 8.3 图形几何构造 .....             | 211 |
| 8.4 消隐技术编程案例 .....           | 214 |
| 练习题 .....                    | 226 |
| <b>第9章 真实感图形学</b> .....      | 227 |
| 9.1 颜色模型 .....               | 227 |
| 9.1.1 CIE 色度图 .....          | 227 |
| 9.1.2 常用的颜色模型 .....          | 228 |
| 9.2 简单光照明模型 .....            | 229 |
| 9.2.1 Phong 光照明模型 .....      | 229 |
| 9.2.2 增量式光照明模型 .....         | 231 |
| 9.3 局部光照明模型 .....            | 232 |
| 9.4 光透射模型 .....              | 232 |
| 9.4.1 透明效果的简单模型 .....        | 233 |
| 9.4.2 Whitted 光透射模型 .....    | 233 |
| 9.4.3 Hall 光透射模型 .....       | 233 |
| 9.4.4 简单光反射透射模型 .....        | 234 |
| 9.5 纹理及纹理映射 .....            | 234 |
| 9.6 整体光照明模型 .....            | 235 |
| 9.6.1 光线跟踪算法 .....           | 235 |
| 9.6.2 辐射度方法 .....            | 237 |
| 9.7 真实感图形学编程案例 .....         | 238 |
| 练习题 .....                    | 279 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>第 10 章 计算机动画</b>              | 280 |
| 10.1 计算机动画概述                     | 280 |
| 10.2 计算机动画的应用领域                  | 280 |
| 10.3 计算机动画的分类和原理                 | 280 |
| 10.4 目前计算机动画面临的问题                | 282 |
| 10.5 计算机动画程序设计案例                 | 283 |
| 10.5.1 帧动画                       | 283 |
| 10.5.2 实时动画                      | 285 |
| 练习题                              | 291 |
| <b>第 11 章 简单 CAD 绘图系统开发实例</b>    | 292 |
| 11.1 计算机图形学绘图基础                  | 292 |
| 11.1.1 计算机图形学绘图系统设计基本原则          | 292 |
| 11.1.2 图形程序设计步骤                  | 293 |
| 11.1.3 在 Visual C++ 集成开发环境下程序的调试 | 294 |
| 11.1.4 计算机程序结构设计基础               | 294 |
| 11.1.5 绘图程序设计基本方法                | 295 |
| 11.2 图形的数据结构                     | 297 |
| 11.2.1 图形信息的分类                   | 298 |
| 11.2.2 图形数据结构                    | 298 |
| 11.2.3 计算机对数据的管理——数据文件           | 299 |
| 11.2.4 图形数据的存储状态                 | 299 |
| 11.2.5 动态文件数据结构的组织原则             | 300 |
| 11.2.6 简单 CAD 绘图系统编程实例中的数据结构     | 300 |
| 11.3 简单 CAD 绘图系统功能简介             | 313 |
| 11.3.1 简单 CAD 绘图系统运行界面           | 313 |
| 11.3.2 简单 CAD 绘图系统功能             | 313 |
| <b>参考文献</b>                      | 316 |

随着计算机科学与技术,特别是计算机图形显示设备的迅速发展,促进了利用计算机技术生成图形的计算机图形学在工业、商业、军事、教育和影视娱乐等各种领域中的广泛应用,计算机图形学成为计算机科学中最为活跃的分支之一,且日益显示出其重要性和不可替代性。

## 1.1 计算机图形学的概念及其发展历史

计算机图形学(Computer Graphics,CG)是使用数学算法研究利用计算机生成、处理和显示各种图形的一门科学。国际标准化组织(ISO)对计算机图形学的定义为:计算机图形学是研究通过计算机将数据转化为图形,并在专门显示设备上显示的原理、方法和技术的科学。图形与图像的概念常常被混淆。图形与图像的区别在于图形一般具有点、线、面图元、三维体图元和更高维的特征图元等几何属性和线型、线宽、灰度、色彩等非几何属性,图像则强调图形的灰度、色彩等非几何属性。图形的绘制方法有参数法和点阵法。参数法是图形设计过程中,用几何参数和非几何参数建立数学模型描述图形的一种方法。点阵法是在绘制图形时用具有颜色信息的像素点阵来表示图形的一种方法,用点阵法所绘制的图形称为图像。

计算机图形学不仅研究点、线、面、体等几何元素的生成、处理和显示,几何场景的曲线曲面造型技术、实体造型技术以及真实感图形作为图形学研究的重要内容。计算机图形学的研究内容涉及图形硬件、图形标准、图形交互技术、光栅图形生成算法、曲线曲面造型、实体造型、真实感图形计算与显示算法,以及科学计算可视化、计算机动画、自然景物模拟、虚拟现实等。建立真实感图形,需要图形场景的几何描述,计算在假想的光源、纹理、材质属性下的光照效果。计算机图形学与计算机辅助设计(Computer Aided Design,CAD)、计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing,CAM)有着密切的关系,目前流行的大多数CAD/CAM 软件功能支持产品设计、工程图的绘制、输入和输出。

计算机图形学的研究内容涉及图形硬件、图形标准、图形交互技术、光栅图形生成算法、曲线曲面造型、实体造型、真实感图形计算与显示算法,以及科学计算可视化、计算机动画、自然景物模拟、虚拟现实等。

计算机图形学涉及的算法包括:

- (1) 基于图形设备的基本图形元素的生成算法,如用光栅图形显示器生成直线、圆弧、二次曲线、封闭边界内的填色、填图案、反走样等。
- (2) 基本图形元素的几何变换、投影变换以及裁剪等算法。

(3) 曲线和曲面的生成算法,如插值、拟合、拼接、分解、过渡、光顺、整体修改、局部修改等。

(4) 图形元素(点、线、环、面、体)的求交运算。

(5) 隐藏线、面消除以及具有光照颜色效果的真实图形显示。

(6) 山、水、花、草、烟云等模糊事物的生成。

(7) 三维或高维数据场的可视化。

(8) 三维形体的实时显示和图形并行处理。

(9) 虚拟现实环境的生成及其控制算法等。

## 1.2 计算机图形学发展史

计算机图形学硬件技术的发展,是与显示器技术的发展分不开的。1946 年第一台数字电子计算机问世,1950 年美国麻省理工学院(MIT)诞生了第一台能够显示一些简单图形的阴极射线管式(CRT Cathode-Ray Tube)显示器——旋风 I 号(Whirlwind I)。这一时期计算机图形学被认为处于准备和酝酿时期。

1963 年,MIT 林肯实验室的 Ivan E. Sutherland 发表了一篇题为《画板(Sketchpad):一个人机交互通信的图形系统》的博士论文,首次使用 Computer Graphics 术语,论证了交互计算机图形学的可行性,从而确定了计算机图形学的科学地位。他在论文中所提出的一些交互技术、分层存储符号的数据结构等基本概念和技术,至今还在广为应用。在 20 世纪 60 年代早期,由法国雷诺汽车公司的工程师 Pierre Bézier 提出的一套 Bézier 曲线、曲面的理论,被成功地应用于几何外形设计。20 世纪 60 年代中期,MIT、IBM、贝尔电话实验室等都大规模地开展了计算机图形显示的研究工作,各种绘图仪和图形显示器也相继问世,为计算机图形学的发展提供了必要的硬件基础。与此同时 MIT 的教授 Steven A. Coons 提出了被后人称为超限插值的新思想,通过插值四条任意的边界曲线来构造曲面。Coons 方法和 Bézier 方法是 CAGD 最早的创新性工作。

20 世纪 70 年代,计算机图形学的发展经历了一个重要的历史时期。随着光栅显示器的出现,光栅图形学算法迅速发展起来,区域填充、裁剪、消隐等基本图形概念、真实感图形学和实体造型技术及其相应算法纷纷诞生,并出现计算机辅助设计图形系统,计算机图形学进入实用化阶段。另外,1970 年 Bouknight 提出了第一个光反射模型。1971 年 Gourand 提出“漫反射模型+插值”的思想,被称为 Gourand 明暗处理。从 1973 年开始,相继出现了英国剑桥大学计算机辅助设计小组的 Build 系统、美国罗彻斯特大学的 PADL-1 系统等实体造型系统。1975 年 Phong 提出了著名的简单光照模型——Phong 模型。这些可以算是真实感图形学最早的创新性工作。1977 年开始制订计算机图形学标准,相继提出了各种图形标准(如 GKS 二维图形标准与 PHIGS、OpenGL 三维图形标准等),这使得各种图形应用软件的开发更加方便,同时使其应用软件具备了良好的可移植性。应该说图形显示软件标准化是计算机图形学发展趋于成熟的一个重要标志,是对计算机图形学技术成果的总结与概括。

20 世纪 80 年代,由于光栅扫描显示器在个人计算机和工作站中的出现,使计算机图形学的应用得到前所未有的发展。1980 年 Whitted 提出了 Whitted 光透视模型,第一次给出

光线跟踪算法的范例；1984年，美国 Cornell 大学和日本广岛大学的学者分别将热辐射工程中的辐射度方法引入到计算机图形学中，用辐射度方法成功地模拟了理想漫反射表面间的多重漫反射效果；光线跟踪算法和辐射度算法的提出，标志着真实感图形的显示算法已逐渐成熟。从 20 世纪 80 年代中期以来，超大规模集成电路的发展为图形学的飞速发展奠定了物质基础。计算机的运算能力的提高，图形处理速度的加快，使得图形学的各个研究方向得到充分发展，大量价格低、简单易用的图形应用程序促使具有图形处理功能的计算机进入家庭。图形学已广泛应用于计算机辅助设计与制造、计算机动画、科学计算可视化、虚拟现实、影视娱乐等各个领域。

## 1.3 计算机图形系统

### 1.3.1 计算机图形系统简介

计算机图形系统通常以具有图形功能的交互计算机系统为基础，主要设备有计算机主机、一般的外围设备、图形输入输出设备以及各类软件。

图形输入设备(Input Device)是计算机输入数据和信息的设备。是计算机与用户或其他设备通信的桥梁。计算机能够接收各种各样的数据，既可以是数值型的数据，也可以是各种非数值型的数据，如图形、图像、声音等都可以通过不同类型的输入设备输入到计算机中，进行存储、处理和输出。输入设备一般有键盘、鼠标、摄像头、扫描仪、光笔、手写板、游戏杆、麦克风等，用于把原始数据和处理这些数的程序输入到计算机中。

输出设备(Output Device)是计算机用于数据输出的设备。它把计算机处理的各种数据或信息以数字、字符、图像、声音等形式表示出来。常见的有显示器、打印机、绘图仪、影像输出系统、扩音器、磁记录设备等。

显示卡是计算机图形系统中一个重要的组成部分。显示卡又称显示器适配卡或称 3D 图形加速卡，简称显卡，是连接主机与显示器的接口卡，作用是将主机的输出信息转换成字符、图形和颜色等信息，传送到显示器进行显示。显卡由主机接口、显示器接口和功能电路组成。功能电路通常由显示控制器和显示存储器组成。显示控制器是显示卡的核心处理器芯片，它把主机送来的图像数据先转换为数字视频，再把数字信号转换(D/AC)为模拟视频信号，还要形成行、场同步信号。显示存储器是显示卡的高速内存，又称为显示缓存，简称显存。它是双端口的存储器，可以在接收主机输入数据的同时输出数据。目前显示内存有 EDO、VRAM、SGRAM、WDRAM、MDRAM 和 RDRAM 等多种类型。

由于各种显示卡可以有多种显示模式，因此，在计算机生成任何图形之前，必须进行图形的初始化工作，也就是说必须要装入图形驱动程序，以确定计算机工作的图形显示模式。图形显示器显示方式具有离散性，即任何图形的显示都是由点的集合形式呈现的，点是构成直线、曲线、面、体等图形的最基本元素。图形初始化后即可进入相应的图形显示模式，在不同的显示模式下，像素的大小是不一样的，分辨率也就不同。显示器上的图形是由像素(光点)所组成。屏幕上光点的多少，即像素的多少，称为分辨率；光点亮度的深浅变化层次，即灰度，可以用颜色来表示。分辨率和灰度的级别是衡量图像质量的标准。分辨率(resolution)就是指显示卡所能在显示器上描绘的点的数，通常以“横向点数( $n_1$ ) $\times$ 纵向点