



21世纪高等学校计算机学科系列教材

# 计算机 图形学基础

陈传波 陆枫 编著

全国高等学校计算机教育研究会  
课程与教材建设委员会推荐出版



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

21 世纪高等学校计算机学科系列教材

# 计算机图形学基础

陈传波 陆 枫 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是为适应各类大学本科生学习“计算机图形学”的需要而编写的教材。全书共分10章,第1章简要介绍了计算机图形学的基本概念、应用和发展动态,第2~5章由“外”到“内”介绍了计算机图形处理系统的硬件设备、人机交互处理、图形对象在计算机内的表示以及基本图素的生成算法等,第6章主要介绍二维变换和二维观察的概念,第7~10章主要涉及三维图形的变换、处理和绘制。书中还配备了教学光盘,内容包括根据作者多年教学实践总结的电子教案以及学生在教学过程中制作的相关教学实例,可供教师学生双方参考。

本书也可供“计算机图形学”爱好者及有关专业技术人士自学参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学基础/陈传波等编著 —北京:电子工业出版社,2002.3

21世纪高等学校计算机学科系列教材

ISBN 7-5053-7157-6

I. 计… II. 陈… III. 计算机图形学—教材 IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 007034 号

责任编辑:陈晓明 特约编辑:高文勇

印 刷:北京兴华印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:18.25 字数:467千字 附光盘1张

版 次:2002年3月第1版 2002年3月第1次印刷

印 数:6000册 定价:28.00元(含光盘)

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。  
联系电话:(010)68279077

## 序 言

这套教材是面向 21 世纪计算机学科系列教材。为什么要组织这套教材？根据什么编写这套教材？这些都是在这篇序言中要回答的问题。

计算机学科是一个飞速发展的学科,尤其是近十年来,计算机向高度集成化、网络化和多媒体化发展的速度一日千里。但是,从另一个方面来看,目前高等学校的计算机教育,特别是教材建设,远远落后于现实的需要。现在的教材主要是根据《教学计划 1993》的要求组织编写的。这个教学计划,在制定过程中主要参照了美国 IEEE 和 ACM 的《教学计划 1991》。

10 年来,计算机学科已有了长足发展,这就要求高等学校计算机教育必须跟上形势发展的需要,在课程设置和教材建设上做出相应调整,以适应面向 21 世纪计算机教育的要求。这是组织这套教材的初衷。

为了组织好这套教材,全国高等学校计算机教育研究会课程与教材建设委员会在天津召开了“全国高等学校计算机学科课程与教材建设研讨会”,在北京召开了“教材编写大纲研讨会”。在这两次会议上,代表们深入地研讨了全国高校计算机专业教学指导委员会和中国计算机学会教育委员会制定的《计算机学科教学计划 2000》以及美国 IEEE 和 ACM 的《计算机学科教学计划 2001》,这是这套教材参照的主要依据。

IEEE 和 ACM 的《计算机学科教学计划 2001》是在总结了从《计算机学科教学计划 1991》到现在,计算机学科十年来发展的主要成果的基础上诞生的。它认为面向 21 世纪计算机学科应包括 14 个主科目,其中 12 个主科目为核心主科,它们是:算法与分析(AL)、体系结构(AR)、离散结构(DS)、计算科学(CN)、图形学、可视化、多媒体(GR)、网络计算(NC)、人机交互(HC)、信息管理(IM)、智能系统(IS)、操作系统(OS)、程序设计基础(PF)、程序设计语言(PL)、软件工程(SE)、社会、道德、法律和专业问题(SP)。其中除 CN 和 GR 为非核心主科目外,其他 12 项均为核心主科目。

将 2001 教学计划与 1991 教学计划比较可看出:

(1) 在 1991 年计划中,离散结构只作为数学基础提出,而在 2001 计划中,则作为核心主科目提出,显然,提高了它在计算机学科中的地位。

(2) 在 1991 计划中,未提及网络计算,而在 2001 计划中,则作为核心主科目提出,以适应网络技术飞速发展的需求。

(3) 图形学、可视化与多媒体也是为适应发展要求新增加的内容。

除此之外,2001 计划在下述 5 个方面做调整:

将程序设计语言引论调整为程序设计基础,将人-机通信调整为人机交互,将人工智能与机器人学调整为智能系统,将数据库与信息检索调整为信息管理,将数值与符号计算调整为计算科学。

显然,这些变化使 2001 计划更具有科学性,也更好地适应了学科发展的需要。

在组织这套教材的过程中,充分考虑了这些变化和调整,在软件和硬件的课程体系、界面划分方面均做了相应的调整,使整套教材更具有科学性和实用性。

另外,还要说明一点,教材建设既要满足必修课的要求,又要满足限选课和任选课的要求。

2001/85

因此,教材应按系列组织,反映整个计算机学科的要求,采用大拼盘结构,以适应各校不同的具体教学计划,使学校可根据自己的需求进行选择。

这套教材包括:《微机应用基础》、《离散数学》、《电路与电子技术》、《电路与电子技术习题与实验指南》、《数字逻辑与数字系统》、《计算机组成原理》、《微机接口技术》、《计算机体系结构》、《计算机网络》、《计算机网络实验教程》、《通信原理》、《计算机网络管理》、《网络信息系统集成》、《多媒体技术》、《计算机图形学》、《计算机维护技术》、《数据结构》、《计算机算法设计与分析》、《计算机数值分析》、《汇编语言程序设计》、《Pascal 语言程序设计》、《VB 程序设计》、《C 语言程序设计》、《C++ 语言程序设计》、《Java 语言程序设计》、《操作系统原理》、《UNIX 操作系统原理与应用》、《Linux 操作系统》、《软件工程》、《数据库系统原理》、《编译原理》、《编译方法》、《人工智能》、《计算机信息安全》、《计算机图像处理》、《人机交互》、《计算机伦理学》。对于 IEEE 和 ACM 的《计算机学科教学计划 2001》中提出的 14 个主科目,这套系列教材均涵盖,能够满足不同层次院校、不同教学计划的要求。

这套系列教材由全国高等学校计算机教育研究会课程与教材建设委员会主任李大友教授精心策划和组织。编者均为具有丰富教学实践经验的专家和教授。所编教材体系结构严谨、层次清晰、概念准确、论理充分、理论联系实际、深入浅出、通俗易懂。

教材组织过程中,得到了哈尔滨工业大学蒋宗礼教授,西安交通大学董渭清副教授,武汉大学张焕国教授,吉林大学张长海教授,福州大学王晓东教授,太原理工大学余雪丽教授等的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

李大友  
2000 年 6 月

## 前 言

1962年MIT林肯实验室的Ivan E. Sutherland发表了一篇题为《Sketchpad: 一个人机通信的图形系统》的博士论文,确立了计算机图形学作为一个崭新的科学分支的独立地位。计算机图形学从此跳出早期学术研究与军事应用的小圈子,发展成为拥有众多应用领域的新兴学科,如电影中的高技术特技效果、WWW网络、建筑设计、人工智能、计算机游戏、计算机化的电脑外科手术、计算机辅助设计制造、虚拟环境技术、科学计算可视化、三维实时仿真、计算机视觉、人机交互技术、分形技术等等。目前,几乎所有的高等学校均已开设了“计算机图形学”课程,这是培养计算机图形学研究领域人才的重要途径,也是计算机图形学在我国得到迅速发展的必要条件之一。

我们在长期的教学和科研过程中发现,学生一方面对计算机图形学抱有浓厚的兴趣,希望能够立即掌握如何进行动画制作、真实感图形绘制等;另一方面,在使用相关的图形、动画制作软件时,又对其中的绘制和生成算法等感觉神秘而不可理解。实际上,计算机图形学跟任何学科一样,既有坚实的理论基础,又有最新的发展前沿。要想了解甚至掌握绚丽多彩的计算机图形应用技术,没有扎实的理论基础是不行的。目前,国内外知名大学通常这样来安排计算机图形学的课程体系:本科生开设“计算机图形学基础”或“计算机图形学引论”课程,主要讲述计算机图形学的基础理论知识,并对最新的发展前沿话题进行概括性介绍;研究生则开设“计算机图形学高级话题”、“真实感图形显示”以及“虚拟现实技术”等,讲述三维场景的建模、观察和绘制,覆盖对象表示、表面绘制和计算机动画等前沿内容。

从这个思路出发,我们在总结多年教学工作的基础上,参阅国内外最新版本的教材,主要针对本科生的教学过程编写了本书,力争在书中体现如下两个特征:一是从交互式计算机图形处理系统的整体框架结构出发,让读者掌握如何根据不同的应用对象选择合适的硬、软件工具环境,构造相应的图形应用软件;二是尽量从概念上讲述图形处理所需的基础知识,让读者在学习之后,能够系统地掌握这个学科中涉及的概念和思维方式,为进一步学习相关新技术提供准备。计算机图形学中的概念和思维方法具有相当好的继承性,例如“光栅扫描”的概念,如果对本书第2章中光栅扫描显示器的显示原理有较好的体会,那么对第5章中图形的光栅化、反走样等概念的理解就顺理成章了。另外,如果通过第1章和第4章的学习,能够掌握和了解“图形”这个概念以及在计算机中如何存储“图形”,那么,基本图形的生成、曲线曲面的绘制甚至真实感图形的显示等内容学习起来就会有的放矢。还有,“连贯性”这个概念在扫描转换多边形时用到,在消隐时用到,在显示真实感图形时也要用到,并且运用的方式都类同。读者只要掌握了这些基本概念和思维方式,在学习后续知识时只要注重前后连贯,就能一通百通。

书中第1章简要介绍了计算机图形学的基本概念、应用和发展动态,第2章到第5章,由“外”到“内”介绍了计算机图形处理系统的硬件设备、人机交互处理、图形对象在计算机内的表示以及基本图素的生成算法等。第6章主要介绍二维变换和二维观察的概念。从第7章到第10章,主要涉及三维图形的变换、处理和绘制。第7章介绍三维变换及三维观察的基本内容,包括几何变换和投影变换等;第8章介绍曲线和曲面的生成;第9章简要介绍

了一些常用的消隐算法，第10章对真实感图形绘制的一些基本思想作了简单描述。实际上，消隐和真实感图形绘制包含了非常丰富的内容，鉴于真实感图形显示、计算机动画和三维数据场的可视化等已有相当好的参考文献，因此在教材中不可能也没有必要作详细介绍。

书中配备了教学用光盘，包含作者根据多年教学实践和改革经验总结下来的电子教案，以及华中科技大学计算机学院的学生在教学过程中制作的相关教学实例，便于教师进行选择讲解，同时也有助于读者自学。

在本书的编写过程中，得到了北京工业大学李大友老师的热情支持，在此表示衷心感谢。感谢华中科技大学计算机学院的卢正鼎、王炎坤、李桂兰、刘乐善、周功业等老师的许多鼓励和帮助。感谢李其中、龚文杰、谢琦、张林、庞敏、张潇、白云、王重、闵敏、李涛、杨红圆、陈文辉、沙晋、华睿、宋承璐、马琰、慎厚雄、王玉琼、邓黎明、陈霞、洪雪松、曾辉、严川鰲、吴峰、方涛、黎良、章昆、熊炎、谢欣荣、朱唯波、姚杰、钱达胜、李磊、吴为、王敖、章仙军、陈慧、杨波、潘龙、潘伟文等同学在计算机图形学教学中提出的建议和制作的相关程序，同时还要感谢许多没有列出姓名的人以多种方式对本书的写作所做出的贡献。

由于作者水平有限，书中难免有不妥甚至错误之处，恳请读者不吝指正。

作 者  
2001年9月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	( 1 )
1.1 计算机图形学及其相关概念 .....	( 1 )
1.2 计算机图形学的发展 .....	( 2 )
1.2.1 计算机图形学的确立 .....	( 2 )
1.2.2 硬设备的发展 .....	( 3 )
1.2.3 图形软件的发展及软件标准的形成 .....	( 4 )
1.3 计算机图形学的应用 .....	( 4 )
1.3.1 计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM) .....	( 5 )
1.3.2 计算机辅助绘图 .....	( 6 )
1.3.3 计算机辅助教学 (CAI) .....	( 6 )
1.3.4 办公自动化和电子出版技术 (Electronic Publication) .....	( 6 )
1.3.5 计算机艺术 .....	( 7 )
1.3.6 在工业控制及交通方面的应用 .....	( 7 )
1.3.7 在医疗卫生方面的应用 .....	( 8 )
1.3.8 图形用户界面 .....	( 8 )
1.4 计算机图形系统 .....	( 8 )
1.4.1 计算机图形系统的功能 .....	( 8 )
1.4.2 计算机图形系统的结构 .....	( 9 )
1.5 计算机图形学研究动态 .....	( 13 )
1.5.1 计算机动画 .....	( 13 )
1.5.2 地理信息系统 .....	( 13 )
1.5.3 人机交互 .....	( 14 )
1.5.4 真实感图形显示 .....	( 14 )
1.5.5 虚拟现实 .....	( 15 )
1.5.6 科学计算可视化 .....	( 18 )
1.5.7 并行图形处理 .....	( 19 )
习题 1 .....	( 19 )
<b>第 2 章 图形设备</b> .....	( 20 )
2.1 图形输入设备 .....	( 20 )
2.1.1 键盘 (Keyboard) .....	( 20 )
2.1.2 鼠标器 (Mouse) .....	( 20 )
2.1.3 光笔 (Light Pen) .....	( 21 )
2.1.4 触摸屏 (Touch Screen) .....	( 21 )
2.1.5 操纵杆 (Joystick) .....	( 22 )
2.1.6 跟踪球 (Trackball) 和空间球 (Spacegall) .....	( 22 )
2.1.7 数据手套 (Data Glove) .....	( 23 )
2.1.8 数字化仪 (Digitizer) .....	( 23 )
2.1.9 图像扫描仪 (Scanner) .....	( 24 )



2.1.10	音频输入系统	(24)
2.1.11	视频输入系统	(24)
2.2	图形显示设备	(25)
2.2.1	阴极射线管 (CRT)	(25)
2.2.2	CRT 图形显示器	(32)
2.2.3	平板显示器	(35)
2.2.4	三维观察设备	(38)
2.3	图形显示子系统	(39)
2.3.1	显示子系统结构	(40)
2.3.2	相关概念	(41)
2.3.3	PC 图形显示卡	(45)
2.4	图形绘制设备	(61)
2.4.1	打印机	(61)
2.4.2	绘图仪	(62)
	习题 2	(63)
<b>第 3 章</b>	<b>用户接口及交互式技术</b>	(64)
3.1	用户接口设计	(64)
3.1.1	用户模型	(64)
3.1.2	显示屏幕的有效利用	(65)
3.1.3	反馈	(66)
3.1.4	一致性原则	(67)
3.1.5	减少记忆量	(67)
3.1.6	回退和出错处理	(67)
3.1.7	联机帮助	(67)
3.1.8	视觉效果设计	(68)
3.1.9	适应不同的用户	(68)
3.2	逻辑输入设备与输入处理	(68)
3.2.1	逻辑输入设备	(68)
3.2.2	输入模式	(72)
3.3	交互式绘图技术	(75)
3.3.1	基本交互绘图技术	(75)
3.3.2	三维交互技术	(79)
	习题 3	(80)
<b>第 4 章</b>	<b>图形的表示与数据结构</b>	(81)
4.1	基本概念	(81)
4.1.1	基本图形元素与段的概念	(81)
4.1.2	几何信息与拓扑信息	(82)
4.1.3	坐标系	(84)
4.1.4	几何元素	(85)
4.1.5	实体的定义	(86)
4.1.6	正则集合运算	(88)
4.1.7	平面多面体与欧拉公式	(89)
4.2	三维形体的表示	(90)
4.2.1	多边形表面模型	(91)

4.2.2	扫描表示 (Sweep Representation)	(95)
4.2.3	构造实体几何法	(95)
4.2.4	空间位置枚举表示	(97)
4.2.5	八叉树	(99)
4.2.6	BSP 树	(100)
4.3	非规则对象的表示	(100)
4.3.1	分形几何	(100)
4.3.2	形状语法	(101)
4.3.3	微粒系统	(102)
4.3.4	基于物理的建模	(102)
4.3.5	数据场的可视化	(103)
4.4	图形的层次结构	(104)
4.4.1	段的层次概念	(105)
4.4.2	层次结构的实现	(105)
	习题 4	(106)
<b>第 5 章</b>	<b>基本图形生成算法</b>	(107)
5.1	直线的扫描转换	(107)
5.1.1	数值微分法	(108)
5.1.2	中点 Bresenham 算法	(109)
5.1.3	改进的 Bresenham 算法	(112)
5.2	圆的扫描转换	(114)
5.2.1	八分法画圆	(114)
5.2.2	简单方程产生圆弧	(115)
5.2.3	中点 Bresenham 画圆	(115)
5.3	椭圆的扫描转换	(117)
5.3.1	椭圆的特征	(117)
5.3.2	椭圆的中点 Bresenham 算法	(118)
5.4	多边形的扫描转换与区域填充	(122)
5.4.1	多边形的扫描转换	(123)
5.4.2	边缘填充算法	(127)
5.4.3	区域填充	(128)
5.4.4	其他相关的概念	(132)
5.5	字符处理	(133)
5.5.1	点阵字符	(134)
5.5.2	矢量字符	(134)
5.6	属性处理	(135)
5.6.1	线型和线宽	(135)
5.6.2	字符的属性	(138)
5.6.3	区域填充属性	(139)
5.7	反走样	(140)
5.7.1	过取样	(141)
5.7.2	简单的区域取样	(142)
5.7.3	加权区域取样	(143)
	习题 5	(144)

<b>第 6 章 二维变换及二维观察</b> .....	(146)
6.1 基本概念 .....	(146)
6.1.1 齐次坐标 .....	(146)
6.1.2 几何变换 .....	(147)
6.1.3 二维变换矩阵 .....	(147)
6.2 基本几何变换 .....	(147)
6.2.1 平移变换 .....	(147)
6.2.2 比例变换 .....	(148)
6.2.3 旋转变换 .....	(148)
6.2.4 对称变换 .....	(149)
6.2.5 错切变换 .....	(151)
6.2.6 二维图形几何变换的计算 .....	(152)
6.3 复合变换 .....	(153)
6.3.1 二维复合平移 .....	(153)
6.3.2 二维复合比例 .....	(154)
6.3.3 二维复合旋转 .....	(154)
6.3.4 其他二维复合变换 .....	(154)
6.3.5 相对任一参考点的二维几何变换 .....	(155)
6.3.6 相对任意方向的二维几何变换 .....	(155)
6.3.7 坐标系之间的变换 .....	(156)
6.3.8 光栅变换 .....	(157)
6.3.9 变换的性质 .....	(159)
6.4 二维观察 .....	(159)
6.4.1 基本概念 .....	(159)
6.4.2 用户坐标系到观察坐标系的变换 .....	(162)
6.4.3 窗口到视区的变换 .....	(162)
6.5 裁剪 .....	(163)
6.5.1 点的裁剪 .....	(164)
6.5.2 直线段的裁剪 .....	(164)
6.5.3 多边形的裁剪 .....	(172)
6.5.4 其他裁剪 .....	(175)
习题 6 .....	(176)
<b>第 7 章 三维变换及三维观察</b> .....	(178)
7.1 三维变换的基本概念 .....	(178)
7.1.1 三维齐次坐标变换矩阵 .....	(178)
7.1.2 几何变换 .....	(178)
7.1.3 平面几何投影 .....	(178)
7.1.4 观察投影 .....	(179)
7.2 三维几何变换 .....	(180)
7.2.1 三维基本几何变换 .....	(181)
7.2.2 三维复合变换 .....	(186)
7.3 平行投影 .....	(189)
7.3.1 正投影 .....	(189)
7.3.2 斜投影 .....	(195)

7.4	透视投影	(196)
7.4.1	一点透视	(197)
7.4.2	二点透视	(198)
7.4.3	三点透视	(200)
7.5	观察坐标系及观察空间	(201)
7.5.1	观察坐标系	(201)
7.5.2	观察空间	(202)
7.6	三维观察流程	(205)
7.6.1	用户坐标系到观察坐标系的变换	(206)
7.6.2	平行投影的规范化投影变换	(206)
7.6.3	透视投影的规范化投影变换	(208)
7.7	三维裁剪	(210)
7.7.1	关于规范化观察空间的裁剪	(211)
7.7.2	齐次坐标空间的裁剪	(212)
	习题 7	(213)
<b>第 8 章</b>	<b>曲线和曲面</b>	<b>(214)</b>
8.1	曲线曲面基础	(214)
8.1.1	曲线曲面数学描述的发展	(214)
8.1.2	曲线曲面的表示要求	(215)
8.1.3	曲线曲面的表示	(216)
8.1.4	插值和逼近样条	(217)
8.1.5	连续性条件	(218)
8.1.6	样条描述	(219)
8.2	三次样条	(219)
8.2.1	自然三次样条	(220)
8.2.2	三次 Hermite 样条	(220)
8.3	Bezier 曲线曲面	(222)
8.3.1	Bezier 曲线的定义	(222)
8.3.2	Bezier 曲线的性质	(224)
8.3.3	Bezier 曲线的生成	(226)
8.3.4	Bezier 曲面	(229)
8.4	B 样条曲线曲面	(231)
8.4.1	B 样条曲线的定义	(231)
8.4.2	B 样条曲线的性质	(238)
8.4.3	B 样条曲面	(240)
8.5	有理样条曲线曲面	(241)
8.5.1	NURBS 曲线曲面的定义	(242)
8.5.2	有理基函数的性质	(243)
8.5.3	NURBS 曲线曲面的特点	(244)
8.6	曲线曲面的转换和计算	(245)
8.6.1	样条曲线曲面的转换	(245)
8.6.2	样条曲线曲面的离散生成	(246)
	习题 8	(249)
<b>第 9 章</b>	<b>消隐</b>	<b>(250)</b>

9.1	深度缓存器算法	(250)
9.2	区间扫描线算法	(252)
9.3	深度排序算法	(254)
9.4	区域细分算法	(256)
9.5	光线投射算法	(258)
9.6	BSP 树算法	(258)
9.7	多边形区域排序算法	(259)
	习题 9	(260)
<b>第 10 章</b>	<b>真实感图形绘制</b>	<b>(261)</b>
10.1	简单光照模型	(261)
10.1.1	环境光	(262)
10.1.2	漫反射光	(262)
10.1.3	镜面反射光	(263)
10.1.4	光强衰减	(265)
10.1.5	颜色	(266)
10.2	基于简单光照模型的多边形绘制	(267)
10.2.1	恒定光强的多边形绘制	(267)
10.2.2	Gouraud 明暗处理	(267)
10.2.3	Phong 明暗处理	(269)
10.3	透明处理	(270)
10.4	产生阴影	(271)
10.5	模拟景物表面细节	(272)
10.5.1	用多边形模拟表面细节	(272)
10.5.2	纹理的定义和映射	(272)
10.5.3	凹凸映射	(274)
10.6	整体光照模型与光线跟踪	(274)
10.6.1	整体光照模型	(274)
10.6.2	Whitted 光照模型	(275)
10.6.3	光线跟踪算法	(275)
10.6.4	光线跟踪反走样	(277)
	习题 10	(278)
	<b>参考文献</b>	<b>(280)</b>

# 第1章 绪 论

图形图像是现代信息社会的重要支柱。据统计,人类主要是通过视觉、触觉、听觉和嗅觉等感觉器官感知外部世界,其中约80%的信息由视觉获取,“百闻不如一见”就是一个非常形象的说法。因此,旨在研究用计算机来显示、生成和处理图形信息的计算机图形学便成为一个非常活跃的研究领域。尽管当前计算机对图形信息的处理还显得那么笨拙和幼稚,图形的表示、生成、处理、存储、检索和管理等也要比文字处理复杂得多,但用计算机来处理图形信息比传统的手工或机械方式确实提高了一大步。它使得图形质量更佳,图形数据与信息的可靠性更高,使用更加有效,成本也越来越低。

## 1.1 计算机图形学及其相关概念

计算机图形学(Computer Graphics)是研究怎样利用计算机来显示、生成和处理图形的原理、方法和技术的学科。世界各国的专家学者对图形学有着各自的定义。德国的Wolfgang K Giloi把它定义为:图形学由数据结构、图形算法和语言构成。美国的James Foley则把它定义为:计算机图形学是运用计算机产生、存储、处理物体的物理模型和它们的画面。IEEE的定义为:Computer graphics is the art or science of producing graphical images with the aid of computer.

计算机图形学既是一门复杂的综合性新兴学科,也是建立在传统的图学理论、现代数学和计算机科学基础上的一门边缘性学科。计算机图形学的发展与数学尤其密不可分。拓扑学、集合论、曲线曲面理论是几何造型的数学基础;对称群理论与晶体图形学、分维几何与分维图形学、画法几何与工程绘图、微分方程与PDE曲面等等,也无不揭示着图形学与其他理论的深刻关系,而形态学、混沌学、小波理论的引入正影响产生新一代图形处理技术。

计算机图形学的研究对象是图形。图形的概念在计算机图形学中首先是一个广义的概念,能够在人的视觉系统中形成视觉印象的客观对象都称为图形。它既包括了各种几何图形以及由函数式、代数方程和表达式所描述的图形,也包括了来自各种输入媒体的图景、图片、图案、图像以及形体实体等。

构成图形的要素可以分为两类,一是刻画形状的点、线、面、体等几何要素;二是反映物体表面属性或材质的明暗、灰度、色彩(颜色信息)等非几何要素。例如,一幅黑白照片上的图像是由不同灰度的点构成的;方程 $x^2 + y^2 = r^2$ 确定的图形则是由具有一定颜色信息且满足这个方程的点所构成的。因此,计算机图形学中所研究的图形可定义为从客观世界物体中抽象出来的带有颜色及形状信息的图 and 形。

计算机中表示带有颜色及形状信息的图 and 形常用两种方法:点阵法和参数法。点阵法是用具有灰度或颜色信息的点阵来表示图形的一种方法,它强调图形由哪些点组成,并具有什么灰度或色彩。参数法是以计算机中所记录图形的形状参数与属性参数来表示图形的一种方法。形状参数可以是形状的方程系数、线段的起点和终点对等几何属性的描述;属性参数则

描述灰度、色彩、线型等非几何属性。这样，可以进一步细分：把参数法描述的图形叫做图形 (Graphic)，而把点阵法描述的图形叫做图像 (Image)。

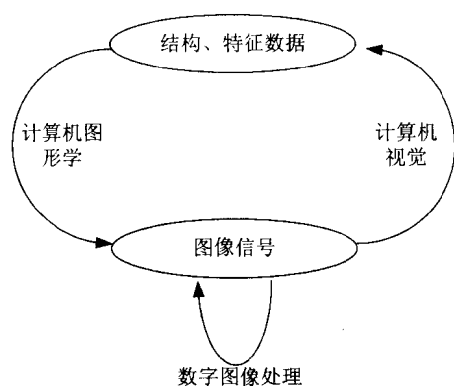


图 1-1 图形图像处理相关学科间的关系

随着对图形概念认识的深入，图形图像处理技术也逐步出现分支。目前，图形图像处理的相关学科有计算机图形学、数字图像处理 (Digital Image Processing) 和计算机视觉 (Computer Vision)，这些相关学科间的关系，如图 1-1 所示。计算机图形学试图从非图像形式的数据描述来生成 (逼真) 的图像。数字图像处理则着重强调在图像之间进行变换，它旨在对图像进行各种加工以改善图像的视觉效果，例如，对图像进行增强、复原、分割、重建以及存储、压缩、编码和传输等。计算机视觉是研究用计算机来模拟生物外显或宏观视觉功能的科学和技术，它模拟人对客观事物

模式的识别过程，是从图像到特征数据、对象的描述表达的处理过程。

近年来，随着多媒体技术、图像数据传输、三维数据场可视化以及虚拟现实等的迅速发展，计算机图形学、数字图像处理和计算机视觉等的学科界限变得模糊起来。例如在图像处理中需要用计算机图形学中的交互技术和手段输入图形、图像和控制相应的过程；在计算机视觉中，也经常采用图形生成技术来帮助合成对象的图像模型。它们之间的这种相互渗透，反过来也促进了学科本身的发展。

## 1.2 计算机图形学的发展

### 1.2.1 计算机图形学的确立

计算机图形学自 20 世纪 50 年代形成始，50 多年来经历了酝酿期 (50 年代)、萌芽期 (60 年代)、发展期 (70 年代)、普及期 (80 年代) 和提高增强期 (90 年代) 等几个阶段，发展成为一门以图形硬件设备、图形专用算法和图形软件系统为研究内容的综合学科。计算机图形学软件与硬件的发展是相互促进、相辅相成的。

1950 年，美国麻省理工学院旋风 1 号 (Whirlwind I) 计算机配备了由计算机驱动的、类似于示波器所用的阴极射线管 (CRT) 来显示一些简单的图形。1958 年，美国 CALCOMP 公司将联机的数字记录仪发展成滚筒式绘图仪，GERBER 公司则把数控机床发展成平板式绘图仪。整个 50 年代，计算机图形学处于准备和酝酿时期，称之为“被动”的图形学。

20 世纪 60 年代初，美国麻省理工学院林肯实验室中基于旋风计算机开发的北美空中防御系统 SAGE (Semi-Automatic Ground Environment System) 具有了指挥和控制图形对象的功能，该系统能够将雷达信号转换为显示器上的图形，操作者可以借用光笔指向屏幕上的目标图形来获得所需要的信息。与此同时，类似的技术在设计 and 生产过程中也陆续得到应用。1962 年，美国麻省理工学院林肯实验室的 Ivan.E.Sutherland 在参与了一个用于 CAD (Computer Aided Design) 的 SKETCHPAD 系统的研制后，发表了一篇题为《Sketchpad: 一个人

机通信的图形系统》的博士论文，其中首次使用了“Computer Graphics”这个术语，从而确立了计算机图形学的学科地位。Ivan.E.Sutherland的Sketchpad系统被公认为对交互式图形生成技术的发展奠定了基础。60年代中期，美国麻省理工学院、通用汽车公司、贝尔电话实验室和洛克希德飞机公司开展了计算机图形学的大规模研究。与此同时，英国的剑桥大学等也开始了这方面的工作。这是计算机图形学的萌芽期。

20世纪70年代，美国洛克希德飞机公司完成了一个用于飞机设计的交互式图形处理系统，即CADAM。它能够绘制工程图，进行分析与产生数控加工纸带，在许多国家得到应用。之后，许多新的更加完备的图形系统不断地被研制出来，计算机图形处理技术进入了实用化阶段，显示出一个广泛应用计算机显示技术和交互式技术的新时期已经到来。但也应注意到，和别的学科相比，此时的计算机图形学还是一个很小的学科领域。主要原因是由于图形设备昂贵、功能简单、基于图形的应用软件缺乏。

20世纪80年代是图形处理技术开花结果的时期，除了传统的军事上和工业上的应用之外，计算机图形学进入了教育、科研、艺术和事务管理等领域，甚至进入了家庭。这时由于出现了带有光栅图形显示器的个人计算机和 workstation，如美国苹果公司的Macintosh，IBM公司的PC及其兼容机，Apollo，Sun workstation等，使得人机交互中位图图形的使用日益广泛。光栅图形显示器付诸应用后不久，就出现了大量简单易用、价格便宜的基于图形的应用软件，如图形用户界面、绘图、字处理、游戏等，由此推动了计算机图形学的发展和应用。

进入20世纪90年代后，除了计算机图形学的功能随着计算机图形设备的发展而提高外，其自身也朝着标准化、集成化和智能化的方向发展。在此期间，国际标准化组织(ISO)公布的有关计算机图形学方面的标准越来越多，而且更加成熟。多媒体技术、人工智能及专家系统技术的引入使得计算机图形技术的应用效果越来越好。科学计算的可视化、虚拟现实技术等的发展又对计算机图形学提出了更新更高的要求，使得三维乃至高维计算机图形学在真实性和实时性方面将有更高的突破。

### 1.2.2 硬设备的发展

从图形显示设备的发展来看，20世纪60年代中期出现的是随机扫描的显示器，它具有较高的分辨率和对比度，具有良好的动态性能。但为了避免图形闪烁，通常需要以30次/秒左右的频率不断刷新屏幕上的图形。为此需要一个刷新存储器来存储计算机产生的显示文件，还要求有一个较高速度的处理器，这些在当时是相当昂贵的，因而成为影响交互式图形系统进一步普及的主要原因。60年代后期，针对上述情况，出现了存储管式显示器，它不需要缓存及刷新功能，价格较低廉，分辨率高，显示大量信息也不闪烁，但是它却不具有显示动态图形的能力，也不能进行选择性的删除。存储管显示器的出现可以使一些简单的图形实现交互处理，而其低廉的价格使得计算机图形学得以推广和普及（目前已经有了与刷新技术相结合的存储管式的图形显示器）。70年代中期，廉价的固体电路随机存储器的出现可以提供比十年前大得多的刷新缓冲存储器，因而就能构造基于电视技术的光栅扫描的图形显示器。在这种显示器中，被显示的线段、字符、图形及其背景等都按像素一一存储在刷新缓冲存储器中，系统按光栅扫描方式以30次/秒的频率对存储器进行读写以实现图形的刷新而避免闪烁。光栅扫描图形显示器的出现使得计算机图形生成技术和现有的电视技术相衔接，生成的图形更加形象、逼真，图形处理系统更易于推广和应用。这也是当前光栅扫描图形显示器受到普遍重视和迅速发展原因之一。另外，目前还发展了几种显示器，包括液晶显示器、等



离子显示器、激光显示器等，它们正向着小型化、低电压和数字化等方向发展。

图形显示设备只能在屏幕上生成各种图形，但在计算机图形系统中还应能把图形画在纸上，这类设备就是图形绘制设备，也称图形硬拷贝设备，分为打印机和绘图仪两种。打印机从针式打印机发展到喷墨式打印机和激光打印机，在速度方面越来越高、性能方面越来越优越。绘图仪有静电式绘图仪和笔式绘图仪等。

伴随着图形显示设备和绘制设备的发展，图形输入设备也从早期的键盘和光笔发展为各种类型的图形输入板、操纵杆、跟踪球、鼠标和拇指轮等。目前还发展了将光笔与屏幕相结合的产品——触摸屏，它是一种能对物体触摸产生反应的屏幕。另外还有坐标数字化仪，用它可把图形坐标和有关命令送入计算机中，其中全电子式坐标数字化仪近年来获得了广泛应用。而在三维图形处理系统如虚拟现实系统中，必须有可以操纵三维场景信息的三维图形输入设备，包括空间球和数据手套等，它们可以输入包括空间坐标和旋转方向在内的6个自由度的数值。

### 1.2.3 图形软件的发展及软件标准的形成

计算机图形学所涉及的处理软件是非常丰富的。伴随着图形硬件的进步，与计算机图形学有关的软件开发和应用都在迅速发展，并在图形系统中占据越来越重要的地位。早期，各硬件厂商生产的图形设备具有不同的功能，它们各自开发专用于自己硬件平台的图形软件包和相应的高级语言接口，致使图形软件包和建立于其上的应用程序互不兼容，没有可移植性。这一方面限制了图形技术的发展，另一方面也阻碍了图形硬件设备的推广普及。于是，人们希望在图形软件上有一个统一的标准，以便应用软件可以在不同的计算机系统及设备之间移植。1974年，美国计算机协会图形学专业委员会（ACM SIGGRAPH）召开了一个题为“与机器无关的图形技术”的工作会议，开始进行有关图形标准的制订和审批工作。该委员会于1979年提出了CORE图形软件标准。然而经国际标准化组织（ISO）和美国国家标准局（ANSI）批准的第一个图形软件标准却是图形核心系统GKS，这是一个二维图形软件包。它的三维扩充GKS-3D在1988年被批准为三维图形软件标准。20世纪80年代又公布了更强调图形层次结构及动态性和交互性的图形标准PHIGS，以及基本图形转换标准IGES和STEP等。近20年来，ISO已经批准和正在讨论的与计算机图形处理有关的标准有：计算机图形核心系统（GKS）及其语言联编、三维图形核心系统（GKS-3D）及其语言联编、程序员层次交互式图形系统（PHIGS）及其语言联编、计算机图形元文件（CGM）、计算机图形接口（CGI）、基本图形转换规范（IGES）、产品数据转换规范（STEP）等。除了由官方组织制定和批准的标准之外，还存在一些非官方的图形软件，它们在工业界被广泛应用，成为事实上的标准，如SGI等公司开发的OpenGL，微软开发的Direct X，Adobe的Postscript等。总之，目前图形软件正朝着标准化、开放式和高效率方向发展。

## 1.3 计算机图形学的应用

近年来，随着图形设备价格的下降，图形显示技术的发展，个人计算机图形功能的增强，高性能图形工作站的出现，特别是图形软件功能的不断扩充以及系统软件的不断完善，计算机图形学已经广泛地用于多种领域，如科学、医药、商业、工业、政府部门、艺术、娱乐业、广告业、教育和培训等。