

21世纪高等院校计算机教材系列

计算机图形学基础 及应用教程

●张怡芳 李继芳 柴本成 编著



购书可获得增值回报
提供教学用电子教案

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高等院校计算机教材系列

TP391.41/1652

2008

计算机图形学基础及应用教程

张怡芳 李继芳 柴本成 编著

机械工业出版社

本书介绍了计算机图形学的基础知识及应用实例, 主要内容包括: 计算机图形软、硬件系统基本知识, 基本图形生成与多边形填充, 字符生成, 二维裁剪, 二维变换, 三维变换, 典型曲线曲面, 消隐, 真实感图形表现, 图形学基本应用等。针对主要知识点, 每章提供若干图形界面的应用实例的实现过程与执行结果, 帮助读者分析计算机图形学原理, 并通过大量生动的图片与实例, 将枯燥的理论转变为可视化的实践操作, 书中所有程序均在 Visual C++ 6.0 环境中验证通过。同时, 还特别提供了两个阶段性的应用程序: 二维图形综合设计实例与真实感综合设计实例。本书是学习计算机图形学的入门书籍, 既能使读者全面了解计算机图形学的基础理论, 又能通过大量应用实例提高其编程能力。

本书适合作为普通高校计算机、信息处理、艺术设计等专业的计算机图形学课程及其实验教材或教师参考用书, 也可作为工程技术人员或图形学爱好者的自学用书, 还可作为相关课程设计的参考教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

计算机图形学基础及应用教程/张怡芳, 李继芳, 柴本成编著.
—北京: 机械工业出版社, 2007.9
(21 世纪高等院校计算机教材系列)
ISBN 978-7-111-22490-7

I. 计… II. ①张…②李…③柴… III. 计算机图形学—
高等学校—教材 IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 154521 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 室策 jsj601
责任编辑: 刘亚军 版式设计: 霍永明 责任校对: 张莉娟
责任印制: 邓 博
北京京丰印刷厂印刷
2008 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷
184mm×260mm · 18.75 印张 · 460 千字
0 001—5 000 册
标准书号: ISBN 978-7-111-22490-7
定价: 29.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
销售服务热线电话: (010) 68326294
购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话: (010) 88379739
封面无防伪标均为盗版

出版说明

计算机技术是一门发展迅速的现代科学技术，它在经济建设与社会发展中，发挥着非常重要的作用。近年来，我国高等院校十分注重人才的培养，大力提倡素质教育、优化知识结构，提倡大学生必须掌握计算机应用技术。为了满足教育的需求，机械工业出版社组织了这套“21世纪高等院校计算机教材系列”。

在本套系列教材的组织编写过程中，我社聘请了各高等院校相关课程的主讲老师进行了充分的调研和细致的研讨，并针对非计算机专业的课程特点，根据自身的教学经验，总结出知识点、重点和难点，一并纳入到教材中。

本套系列教材定位准确，注重理论教学和实践教学相结合，逻辑性强、层次分明、叙述准确而精炼、图文并茂、习题丰富，非常适合各类高等院校、高等职业学校及相关院校的教学，也可作为各类培训班和自学用书。

参加编写本系列教材的院校包括：清华大学、西安交通大学、上海交通大学、北京交通大学、北京邮电大学、北京化工大学、北京科技大学、山东大学、首都经贸大学、河北大学等。

机械工业出版社

前 言

20 世纪最伟大的发明非计算机莫属，而随着软硬件技术的发展，计算机图形技术已经成为计算机应用科学中的一个重要分支。计算机图形学已经被广泛地应用于科研、生产、教育、医学、航空、广告、娱乐等，在我们的日常工作和生活中扮演着重要的角色。计算机图形学是一门理论性与实践性都很强的课程，虽然经过了 40 多年的发展，但是仍然有许多研究热点和新的应用领域值得人们去探索。可以断言，计算机图形学的前景美好而诱人，而它的应用与研究方兴未艾。

当前，很多普通高校相关专业都开设了“计算机图形学”课程，教材也较多，但是传统的教材多数起点较高，着重于算法分析和前沿交叉技术的引导，但大多不涉及基础应用实践。其读者对象主要是重点高校本科学士或硕士研究生。20 世纪末，随着新建本科院校的大量涌现，第三批本科（三本）学生大量增加，新建本科院校的任务主要是大众化、应用型的教学，其特点是理论上只要求掌握重要知识点与基本点，内容不能多而全，而是要有重点；注重动手能力的培养，特别重视实践教学。目前在市面上要找到适合应用型本科院校学生使用的计算机图形学教材比较困难。

本书是计算机图形学基础与应用的入门教材，特点是理论部分简明扼要，只讲述计算机图形学的基本概念、算法原理基础及其分析过程。针对每一章的原理基础，均给出相关知识的应用实例与分析，以浅显的语言和大量生动的图片说明设计过程，让读者通过实例的程序设计实践，进一步加深对图形学知识的理解。书中的所有实例程序均在 Visual C++ 6.0 环境中验证通过。为兼顾学有余力的学生，在每个应用实例后给出了“提高与超越”部分，供读者进一步思考与研究。应用型高等教育特别强调学生动手能力的培养，由于图形学一般都在高年级开设，按部就班地讲课往往无法达到预期的效果，本书通过面向对象实例的程序设计实践，不仅让学生学习并掌握图形学的入门知识，也锻炼学生的动手能力，同时，也为计算机图形学的高级应用奠定了扎实的专业基础。

本书共分 10 章，第 1 章主要介绍了计算机图形学的发展历史、研究内容与应用领域，概述了计算机图形学的软硬件系统；第 2 章重点介绍计算机图形基本元素的扫描转换问题，包括直线、圆周与椭圆等的生成算法及实现，图元属性，二维图形的填充，字符的生成与表示等；第 3 章讲解二维裁剪的基本原理；第 4 章主要介绍图形的平移、旋转、变比、对称等二维图形变换，以及对二维图形的复合变换；第 5 章介绍了交互技术的基本概念，并针对第 2、3、4 章所讲述的二维图形形成的基本原理与方法；应用综合性实例说明二维图形处理的基本方法；第 6 章是三维图形变换，主要包括三维几何变换，以及平行投影与透视投影；第 7 章讲述构造曲线与曲面的基本方法；第 8 章介绍真实感图形表现的基础——消隐；第 9 章介绍了真实感表现的基础知识，并给出了基于 OpenGL 的三维真实感图形应用实例；第 10 章列举了当前计算机图形学的几种应用与研究方向。本书除了第 1 章以外，每章都给出了完整的计算机图形学基础应用实例，章与章之间的应用实例程序既可以单独实现，也可以将它们串成一个大型的应用程序。读者只要按照书中的步骤，就能够得到所要求的图形结果。本

书的章节顺序是编者根据多年的教学实践经验编排的。本书要求读者有一定的 C 语言与线性代数的基础，如果有 Visual C++ 程序设计基础，将能更容易理解本书的程序实例。

书中实验部分标有 * 号的实验为选做部分。

本书由张怡芳制订编写大纲，并提供章节样板。第 1、2、3 章由李继芳编写，第 4、6、9、10 章由张怡芳编写，第 5、7、8 章由柴本成编写，本书附录是由张怡芳在计算机图形学实验教学讲义的基础上整理而成的。全书由张怡芳统稿，并做最后的修改定稿。

为方便教师教学，本书配有电子教案，读者可到机械工业出版社网站 (<http://www.cmpedu.com>) 免费下载。

在本书的编写过程中得到了浙江大学谭建荣教授的大力支持，在定稿、校对过程中得到了陈仲委的大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢！还要特别感谢浙江万里学院计算机与信息学院对本书出版的支持。

由于作者水平所限，时间仓促，书中难免有错误及不当之处，恳请读者指正。联系邮箱：

yeeform@163.com

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 概述	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
1.3 计算机图形学的主要研究内容	4
1.4 计算机图形技术的应用	4
1.5 计算机图形系统	7
1.5.1 图形系统功能及组成	7
1.5.2 图形系统的硬件组成	8
1.5.3 图形软件系统	23
1.6 颜色模型	25
1.6.1 颜色的特征描述空间	25
1.6.2 CIE 色度图	25
1.6.3 几种常用的颜色模型	27
1.7 本章小结	29
思考题	30
第 2 章 基本图形的生成与显示	31
2.1 直线的生成	31
2.1.1 数值微分法	31
2.1.2 中点画线法	33
2.1.3 Bresenham 画线法	35
2.2 圆与椭圆的生成	36
2.2.1 简单画圆法	36
2.2.2 中点画圆算法	37
2.2.3 Bresenham 画圆法	38
2.2.4 中点画椭圆的算法	38
2.3 图元属性及走样控制	40
2.3.1 线型控制	41
2.3.2 线宽控制	41
2.3.3 反走样技术	42
2.4 平面图形区域填充	44
2.4.1 区域的表示及类型	44
2.4.2 多边形扫描转换法	46

2.4.3	边填充算法	49
2.4.4	种子填充法	50
2.5	字符的生成与显示	53
2.5.1	点阵字符	54
2.5.2	矢量字符	55
2.6	基本图形生成实例	56
2.6.1	实例1 平面图形生成与填充	56
2.6.2	实例2 字符的生成及显示	66
2.6.3	提高与超越	69
2.7	本章小结	70
	思考题	71
第3章	二维图形裁剪	73
3.1	点的裁剪	73
3.2	线段裁剪算法	73
3.2.1	直线求交法	74
3.2.2	Cohen-Sutherland 算法	75
3.2.3	中点分割算法	77
3.2.4	其他裁剪算法	78
3.3	多边形裁剪	79
3.3.1	Sutherland-Hodgman 算法	80
3.3.2	Weiler-Atherton 裁剪算法	81
3.4	字符裁剪	82
3.5	二维图形裁剪应用实例	83
3.5.1	实例1 线段的裁剪	84
3.5.2	实例2 多边形的裁剪	89
3.5.3	提高与超越	95
3.6	本章小结	96
	思考题	97
第4章	二维图形变换	98
4.1	图形变换基础	98
4.1.1	坐标系基本概念	98
4.1.2	窗口到视区的转换	99
4.1.3	齐次坐标	101
4.1.4	几何变换与二维仿射变换	102
4.2	二维基本几何变换	102
4.2.1	恒等变换	103
4.2.2	平移变换	103
4.2.3	比例变换	103
4.2.4	旋转变换	104

4.2.5	对称变换	105
4.2.6	错切变换	106
4.3	二维复合变换	106
4.4	二维图形几何变换的计算	108
4.5	二维变换应用实例	110
4.5.1	预备知识	111
4.5.2	实例1 在用户坐标系中显示图形	111
4.5.3	实例2 点阵字符图形变换演示	115
4.5.4	提高与超越	118
4.6	本章小结	118
	思考题	119
第5章	交互技术及二维图形综合应用	120
5.1	交互技术基础	120
5.1.1	定位技术	120
5.1.2	橡皮筋技术	120
5.1.3	拖曳技术	121
5.1.4	定值技术	121
5.1.5	拾取技术	121
5.1.6	网格与吸附技术	122
5.2	交互技术的实现(鼠标绘图)	122
5.3	二维图形技术综合应用	125
5.3.1	实例1 平面图形综合设计	125
5.3.2	实例2 平面曲线图案设计	134
5.3.3	提高与超越	137
5.4	本章小结	138
	思考题	138
第6章	三维图形变换	139
6.1	三维变换概述	139
6.1.1	几何变换的分类	139
6.1.2	三维变换基础	140
6.2	三维基本几何变换及其复合变换	141
6.2.1	三维基本几何变换	141
6.2.2	三维复合变换	145
6.3	投影变换概述	148
6.4	平行投影	149
6.4.1	正投影	149
6.4.2	轴测投影	151
6.5	透视投影	153
6.5.1	透视投影基本原理	153

6.5.2	一点透视	154
6.5.3	二点透视	155
6.5.4	三点透视	155
6.6	三维变换应用实例	156
6.6.1	实例1 平行投影	156
6.6.2	实例2 透视投影	162
6.6.3	提高与超越	164
6.7	本章小结	165
	思考题	166
第7章	曲线和曲面	167
7.1	曲线和曲面基础	167
7.1.1	曲线和曲面数学描述的发展	167
7.1.2	曲线和曲面的拟合	168
7.1.3	曲线和曲面的表示要求	169
7.1.4	参数化表示	169
7.1.5	连续性条件	170
7.2	三次 Hermite 样条曲线	171
7.3	Bezier 曲线	173
7.3.1	Bezier 曲线的定义	173
7.3.2	Bezier 曲线的性质	173
7.3.3	常用 Bezier 曲线的矩阵表示	175
7.3.4	Bezier 曲线的拼接	176
7.3.5	Bezier 曲线的正算与反求	177
7.3.6	Bezier 曲面	178
7.4	B 样条曲线	179
7.4.1	B 样条曲线的定义	179
7.4.2	B 样条曲线的性质	180
7.4.3	B 样条曲线分类	181
7.4.4	NURBS 曲线	183
7.5	曲线曲面应用实例	183
7.5.1	实例1 绘制三次 Bezier 曲线	183
7.5.2	实例2 三次均匀 B 样条曲线	185
7.5.3	提高与超越	190
7.6	本章小结	191
	思考题	191
第8章	消隐	192
8.1	消隐的基本概念	192
8.1.1	什么是消隐	192
8.1.2	消隐的分类	192

8.2	线消隐	193
8.3	面消隐	194
8.3.1	深度缓冲区 (Z-buffer) 算法	194
8.3.2	深度排序算法 (画家算法)	196
8.3.3	扫描线算法	197
8.3.4	区域细分算法	198
8.3.5	其他常用算法	199
8.4	消隐算法实现实例	200
8.4.1	实例1 凸多面体的绘制	200
8.4.2	实例2 圆环的绘制	207
8.4.3	提高与超越	211
8.5	本章小结	212
	思考题	212
第9章	真实感图形绘制	213
9.1	三维形体的表示	213
9.1.1	三维模型基础	214
9.1.2	传统几何造型方法	214
9.1.3	非传统造型技术	217
9.2	光照模型	220
9.2.1	光源特性与物体表面特性	220
9.2.2	光照模型简介	221
9.2.3	阴影生成	224
9.2.4	光线跟踪算法简介	224
9.3	物体的纹理显示	225
9.3.1	表面图案	225
9.3.2	凹凸纹理	226
9.4	真实感图形绘制综合应用实例	226
9.4.1	实例1 基于 OpenGL 的几何造型设计	226
9.4.2	实例2 基于 OpenGL 的三维动画设计	235
9.4.3	提高与超越	239
9.5	本章小结	241
	思考题	241
第10章	计算机图形学应用	242
10.1	计算机动画	242
10.1.1	计算机动画的起源与发展	242
10.1.2	计算机动画的过程与分类	242
10.1.3	双缓存实现帧动画	244
10.1.4	计算机电影动画	244
10.2	计算机辅助设计与制造	245

10.2.1	CAD/CAM 系统的组成	245
10.2.2	CAD/CAM 研究热点	245
10.2.3	国内外 CAD/CAM 软件	246
10.3	虚拟现实与计算机仿真	248
10.4	科学计算可视化	251
10.4.1	可视化的含义	252
10.4.2	可视化的研究内容	253
10.4.3	应用领域	253
10.5	二维简单游戏设计	255
10.6	本章小结	262
	思考题	262
附录		263
附录 A	实验环境简介	263
A.1	程序绘图语言选择	263
A.2	上机环境的选择	263
A.3	用 Visual C++ 环境进行程序设计	263
A.4	OpenGL 编程简介	269
A.5	C 程序绘图简介	273
附录 B	实验项目	277
B.1	实验 1 直线、圆、椭圆的生成算法	277
B.2	实验 2 多边形的扫描转换与区域填充	278
B.3	实验 3 二维裁剪	278
B.4	实验 4 平面图形综合设计	279
B.5	实验 5 三维图形变换	279
B.6	实验 6 常用曲线的生成	280
B.7	实验 7 消隐	280
B.8	实验 8 真实感图形绘制	281
附录 C	图形学所涉及的数学基础	282
C.1	矢量及其运算	282
C.2	矩阵方法	283
C.3	行列式	284
	参考文献	286

第1章 概 述

人们无时无刻不在接收着信息，感知着世界。随着计算机的普及和网络通信的发展，图形图像成了最直观、最容易接收的电子信息形式。目前，计算机图形技术及其应用已经渗透到社会生活和工农业生产的一切领域，并与这些领域自身的发展相互推动与促进。本章主要讲述计算机图形学的基本概念，计算机图形学的发展历程、研究内容和应用领域，计算机图形系统软件与硬件构成，图形显示的颜色空间、CIE 色度图及常用颜色模型等。

1.1 计算机图形学及其相关概念

计算机图形学 (Computer Graphics) 是研究怎样用数字计算机生成、处理和显示图形的原理、方法与技术的一门学科。IEEE 将其定义为: 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，涉及计算几何、机械设计、工程制图、工业造型，也是建立在传统的图学理论、数学、光学和计算机科学基础上的一门边缘学科。

计算机图形学研究的对象是图形。

图形 (Graphic): 从广义上说，现实世界中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。包括人眼所观察到的自然界物体和景物，用照相机和摄像机等设备获取的图片，各种数学方法描述的、手工绘制的，以及绘图工具绘制的图形等。

抽象地说，图形是科学研究中客观对象的一种抽象表示，它包含形状和颜色两个信息要素。形状是描述图形形状的点、线、面、体等几何要素；颜色是反映物体表面属性或材质的灰度、色泽等性质的非几何要素。

计算机图形：用数学方法描述，通过计算机生成、处理、存储和显示的对象。

图像 (Image): 一般是指实际拍摄或印刷出来的画面，其实它已经被图形的广义定义所包括。

图形与图像间无本质的区别，其主要区别是表示方法不同：图形是用矢量表示的；图像是用点阵表示的。矢量表示法是用图形生成所必需的坐标、形状、走向、颜色等几何与非几何属性来描述图形，并表示图形的内在联系；点阵表示法是用图像生成的各个像素点的颜色值来描述图像。矢量和点阵可以互相转化，矢量文件经过扫描转换可在光栅显示器上产生图像；图像经过识别和处理也可以转化为矢量图形。

图像处理：将客观世界中原来存在的物体影像处理成新的数字化图像的相关技术，如 CT 扫描、X 射线探伤等。主要涉及图像的增强、分割、去噪、重组、特征提取和存储等。

模式识别：对所输入的图像进行分析和识别，找出其中蕴涵的内在联系或抽象模型，如邮政分检设备、地形地貌识别等。

计算几何：研究几何模型和数据处理的学科，讨论几何形体的计算机表示、分析和综合，研究如何方便、灵活、有效地建立几何形体的数学模型，以及在计算机中更好地存储和

管理这些模型数据。

总之，与计算机图形学紧密相关的学科主要包括图像处理、计算几何和计算机视觉、模式识别等，它们之间的关系如图 1-1 所示。它们相互联系，可相互转化，其共同点是：以图形/图像在计算机中的表示方法（数据结构、存储、压缩及检索）为基础，研究以人类视觉信息为处理对象的建模和处理方法，只是它们的侧重点不同。随着科学技术的发展和应用的不断深入，学科界限越来越模糊，各学科相互联系，覆盖面有所重合、渗透和融合。

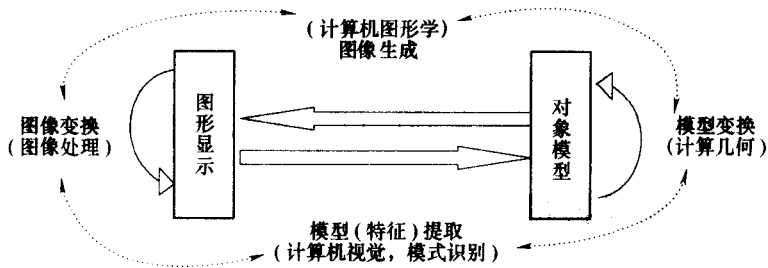


图 1-1 计算机图形学各相关学科之间的关系

1.2 计算机图形学的发展

计算机图形学形成于 20 世纪 60 年代，并逐渐发展成为以图形硬件设备、图形处理专用算法和图形软件系统等为研究内容的一门成熟学科。计算机图形学的兴起和发展与图形输入/输出设备、计算技术及其在各个领域的应用都有很大的关系。图 1-2 所示为计算机图形技术的发展及新的计算形式。

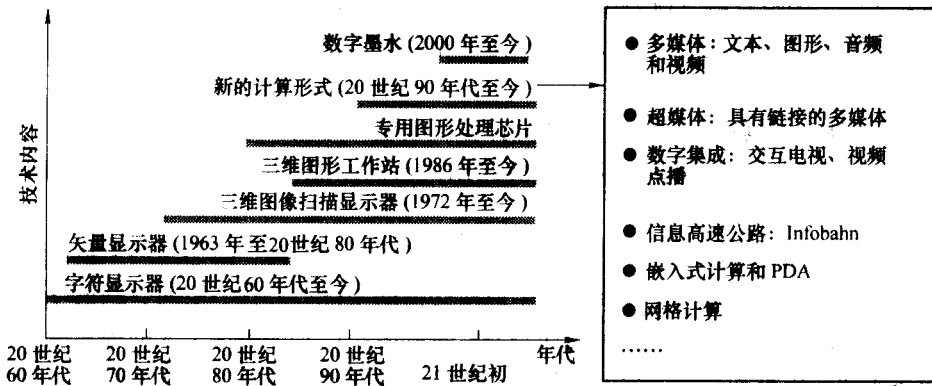


图 1-2 计算机图形技术的发展概况

计算机图形学的研究起源于麻省理工学院 (MIT)。20 世纪 50 年代初，美国麻省理工学院的旋风 1 号 (Whirlwind I) 计算机图形显示诞生了，它用一个类似于示波器所用的阴极射线管 (CRT) 来显示一些简单图形。随后，麻省理工学院林肯实验室基于旋风计算机开发的北美空中防御系统 (Semi Automatic Ground Environment System, SAGE)，将雷达获取的地

理和地形等信号转换为图形在显示器上显示出来，而且用户可通过光笔与系统交互，获取某地区更详细的信息或发出命令，这是交互式图形显示技术诞生的标志。

1962年，林肯实验室的Ivan E. Sutherland在参与了一个用于计算机辅助设计的Sketch-Pad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，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。Sketch-Pad系统允许用户利用光笔在图形显示器上实现拾取、定位、跟踪等交互功能。同时，Ivan E. Sutherland在实现该系统时提出了图元的层次表示和数据结构等一系列计算机图形系统的概念和方法，并一直沿用至今。Ivan E. Sutherland被公认为交互式计算机图形技术的开创者和奠基人，其工作也成为交互式计算机图形系统诞生的标志。

1964年，孔斯(Steve Coons)提出了用小块曲面片组合表示自由型曲面时，使曲面片边界上达到任意高次连续阶的理论方法。此方法得到工业界和学术界的极大推崇，称之为孔斯曲面。法国雷诺汽车公司的贝齐埃(Pierre Bézier)也提出了Bézier曲线和曲面。孔斯和贝齐埃被并列称为现代计算机辅助几何设计技术的奠基人。

20世纪70年代是计算机图形学发展过程中的一个重要历史时期，计算机图形技术的应用达到了实用化阶段，交互式图形系统在多个国家得到应用，许多新的、更完备的图形系统不断被研制出来。计算机图形学的应用已经由军事和工业领域延伸到了教育、科研及事务管理等领域。

交互式计算机图形系统的发展可概括为以下4个阶段：

(1) 字符(Character)显示和交互方式

这种方式产生于20世纪60年代，其图形存储采用文本格式编码，用户采用命令行逐行输入的方式交互。

(2) 矢量(Vector)显示和交互方式

这种方式也产生于20世纪60年代，以图形构成的基本单元(主要是线段)来输出线画图形和笔画文字的显示方式，它采用命令行输入、功能键和菜单等方式来进行对象指定和命令输入等交互。

(3) 二维光栅图形(2DBitmap)显示和交互方式

这种方式产生于20世纪70年代，是当今计算机图形系统的主流技术，它以清晰的文字及丰富的色彩来输出图形，采取以窗口、图标、菜单和拾取为代表的图形用户接口完成对象的直接选取和控制，即采用“所见即所得”的显示控制方式。

(4) 三维图形(3D Graphics)显示和交互方式

自20世纪80年代以来，实时及三维的真实感景象的显示和交互一直是计算机图形系统的重点，它是二维光栅图形显示和交互方式下向三维真实感图形的拓展。它与各种新型计算机技术、多媒体技术、计算机视觉、计算机动画、数字娱乐及人工智能技术等相结合，可以在多任务、多窗口、网络化计算机环境中采取二维、三维甚至是多维的输入设备，来实现对象直接选取和控制。

如今，计算机图形学及其应用技术已经渗透到社会生活及工农业生产的各个领域，计算机软硬件技术的不断更新与发展，各种计算机应用的不断深入，使计算机图形学学科得到了极大的拓展。正如Gino Brunetti在1998年的美国计算机协会图形专业委员会(ACM SIG-GRAPH)会议上所指出的：“计算机图形学是支持几乎所有领域计算机应用交互图形对话的

基础技术，更是实现诸如多媒体内容管理和访问、计算机支持的协同工作、虚拟现实的开发和应用、复杂系统的分析和模拟、智能交互图形系统等的关键技术；计算机图形学还可用于模拟生物结构、移动信息系统及其通信，推动 Internet、WWW 和在线服务的发展”。

1.3 计算机图形学的主要研究内容

简单地讲，计算机图形学是研究怎样用计算机生成、处理和显示图形的一门学科。计算机图形学的核心技术是如何建立被处理对象的模型并生成该对象的图形，同时对所生成的图形进行处理，以达到所需要的效果。因此，图形学所要研究的主要内容有：

1) 几何造型技术：针对各种不同类型的几何模型，构造其二维或三维模型的方法及性能分析，基本图元（表示图形的基本元素，如点、线、圆弧、字符等）、复杂图形的表示及处理，通用或专用模型构造系统的研究等。

2) 图形生成技术：基本图元的生成、区域填充、线/面消隐、光照模型、明暗处理、纹理、色彩等各种真实感图形显示技术。

3) 图形处理技术：对图形进行平移、缩放、旋转、对称、错切、投影等各种变换处理及其软硬件实现技术。

4) 图形信息的存储、检索与交换技术：图形信息的各种内外表示方法、组织形式、存取技术、图形数据库管理、图形数据通信等。

5) 人机交互技术：设备选择、定位研究，各种交互技术（如构造、命令、选择、响应等）的研究，以及用户模型、命令语言、反馈方法等用户接口技术研究。

6) 动画技术：研究各种动画生成及处理的方法、开发工具及语言环境等。

7) 图形输入输出技术：各种显示器（卡）、图形终端、图形工作站等逻辑结构研究，实现高速图形功能的专用芯片研发，图形硬拷贝设备研究等。

8) 图形标准与图形软件包的研究与开发：制定国际图形标准，使图形软件摆脱对硬件设备的依赖，允许图形软件在不同系统之间方便地移植。

总之，计算机图形学研究的内容非常丰富，但随着计算机技术的进步和图形技术应用领域的不断深入，其研究、开发与应用将不断得到发展。

1.4 计算机图形技术的应用

随着计算机图形技术的高速发展，其应用范围也越来越广泛，涉及工业、科技、教育、管理、商业、艺术、娱乐等许多行业。概括起来，主要有以下主要领域：

1. 计算机辅助设计与制造

计算机辅助设计（Computer-aided Design, CAD）和计算机辅助制造（Computer-aided Manufacturing, CAM）是计算机图形学最广泛、最活跃的应用领域，国际上已利用计算机图形学的基本原理和方法开发出 CAD/CAM 集成的商品化软件系统，广泛地应用于建筑设计、机械产品设计。大到飞机、汽车、船舶的外形设计，小到传感器的结构设计，同时对上述产品进行有限元分析、应力彩色云图输出、动态仿真和模具设计制造，在产品阶段即可对其关键部件进行结构分析和优化设计，并实现 CAD/CAM 一体化，从而缩短产品设计周期，

节省原材料，提高产品设计质量。在产品设计和制造方面，CAD/CAM 技术被广泛用于电机、汽车、船舶、机电、轻工、服装的外形设计和制造。例如，美国波音公司，由于采用 CAD 技术，使波音 727 的设计提前 2 年完成；又如，美国通用汽车公司，利用 CAD 系统把产品设计、制造、模拟试验和检查测试结合起来，组成一体化集成系统，使汽车设计周期由 5 年缩短到 3~4 年。在电子工业中，CAD 技术应用到集成电路、印制电路板、电子电路和网络分析等方面的优势是十分明显的。一个复杂的大规模或超大规模集成电路板图不可能用手工设计和绘制，而用 CAD 进行设计可以在较短的时间内完成，并把结果直接送至后续工艺进行加工处理。为了降低工程造价、提高设计效率，在建筑、石油、冶金、地质、电力、铁路、公路、化工等工程设计中也广泛采用 CAD 技术。例如，在应用 CAD 进行建筑设计时，不仅可以进行总体的外观效果图设计，还可以完成结构设计、给排水设计、电器设计和装饰设计等，对密集的楼群地段也可以进行光照分析。

目前，CAD/CAM 集成化软件系统可实现创成式加工 (Generative Machining)，在一个统一的环境中完成加工工艺计划、工具定义和编程任务。基于 CAD/CAM 集成化软件提供的强大框架，可以设计和加工同步工程，可以在设计进行到一定阶段后开始加工工艺编程，保证零件的工艺性，缩短新产品的开发周期。创成式加工能够将成熟的加工工艺内存为加工规则和方法，并在同类加工中调用，从而实现标准化加工，实现三轴、五轴和多轴加工。标准化后的 CAD/CAM 集成化处理，极大地改变了机械制造行业的面貌，从而走向先进制造技术之路。

2. 电子出版及办公自动化

计算机图形技术在管理和办公自动化领域中应用最多的是绘制各种图形，如统计数据的二维和三维图形、直方图、饼图、线条图、扇形图等，还可绘制工作进程图、库存、生产进程图、生产调度图以及大量的其他图形。这些以简明图形形式呈现出的数据模型和趋势，加快了决策的制定和执行。图文并茂的电子排版制版系统代替了传统的铅字排版，随着图、声、文结合的多媒体技术的发展，配合迅速发展的计算机网络，可视电话、电视会议、远程诊断以及文字、图表等的编辑和硬拷贝正在家庭、办公室普及。伴随计算机和高清晰度电视结合的产品的推出，这种普及率将会越来越高，进而会改变传统的办公、家庭生活方式。

3. 计算机动画、娱乐及艺术

计算机图形技术的产生彻底改变了传统手工绘制动画的局面。计算机制作动画只需画出关键帧画面，中间画面可自动插入，从而大大节省了时间，提高了动画制作的效率。由于计算机图形系统的硬件速度的提高，软件功能的增强，利用图形工作站和高档微机来制作计算机动画、广告、电视、电影、游戏等已经相当普遍。目前国内外正在研制人体模拟系统，这使得在不久的将来把早已去世的著名影视明星重新搬上新的影视片成为可能。计算机图形技术被广泛地应用于美术和商用艺术。将计算机图形学与人工智能技术结合起来，可构造出丰富多彩的艺术图像，如各种图案、花纹、工艺外形设计及传统的油画、中国国画和书法等，利用专家系统中设定的规则，可以构造出形状各异的美术图案，生成盆景和书法等。图形程序已在出版印刷和文字处理方面得到大量的研究与应用，取得了巨大成效。

4. 地形地貌及地理信息系统

应用计算机图形生成技术产生高精度的地理图形或自然资源的图形是另一个重要的应用领域，包括地理图、地形图、矿藏分布图、海洋地理图、气象气流图、植物分布图以及各类