



高等院校规划教材
计算机科学与技术系列

计算机绘图与图像处理基础

李兰友 山 鹰 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等院校规划教材·计算机科学与技术系列

计算机绘图与图像处理基础

李兰友 山 鹰 等编著



机械工业出版社

本书介绍计算机绘图和图像处理基础理论、常用算法及相应的应用程序设计。本书以计算机图形处理理论和数字图像处理算法为主线,以应用程序设计实例为中心,介绍图形程序设计基本方法、数字图像处理算法和相应的应用程序设计。

本书内容新颖、简明易懂,全部程序实例均在 Visual C++ .NET 2005 环境下调试通过。本书附有电子课件,可在机械工业出版社网站下载,网址为 www.cmpedu.com。本书的程序实例具有很强的工程实用价值,读者可直接运行书中程序,边上机边学习。

本书可作为大专院校计算机绘图与图像处理课程的教科书,也可作为技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机绘图与图像处理基础/李兰友等编著. —北京:机械工业出版社,2010.5
(高等院校规划教材·计算机科学与技术系列)

ISBN 978 - 7 - 111 - 30486 - 9

I. ①计… II. ①李… III. ①自动绘图-高等学校-教材②图像处理-高等学校-教材 IV. ①TP391.72②TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 074434 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:唐德凯

责任印制:李妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2010 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 19.5 印张 · 480 千字

0001 - 3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-30486-9

定价: 34.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面防伪标均为盗版

出版说明

计算机技术的发展极大地促进了现代科学技术的发展，明显地加快了社会发展的进程。因此，各国都非常重视计算机教育。

近年来，随着我国信息化建设的全面推进和高等教育的蓬勃发展，高等院校的计算机教育模式也在不断改革，计算机学科的课程体系和教学内容更加科学和合理，计算机教材建设逐渐成熟。在“十五”期间，机械工业出版社组织出版了大量的计算机教材，包括“21 世纪高等院校计算机教材系列”、“21 世纪重点大学规划教材”、“高等院校计算机科学与技术‘十五’规划教材”、“21 世纪高等院校应用型规划教材”等，均取得了可喜成果，其中多个品种的教材被评为国家级、省部级的精品教材。

为了进一步满足计算机教育的需求，机械工业出版社策划开发了“高等院校规划教材”。这套教材是在总结我社以往计算机教材出版经验的基础上策划的，同时借鉴了其他出版社同类教材的优点，对我社已有的计算机教材资源进行整合，旨在大幅提高教材质量。我们邀请多所高校的计算机专家、教师及教务部门针对此次计算机教材建设进行了充分的研讨，达成了许多共识，并由此形成了“高等院校规划教材”的体系架构与编写原则，以保证本套教材与各高等院校的办学层次、学科设置和人才培养模式等相匹配，以满足其计算机教学的需要。

本套教材包括计算机科学与技术、软件工程、网络工程、信息管理与信息系统、计算机应用技术以及计算机基础教育等系列。其中，计算机科学与技术系列、软件工程系列、网络工程系列和信息管理与信息系统系列是针对高校相应专业方向的课程设置而组织编写的，体系完整，讲解透彻；计算机应用技术系列是针对计算机应用类课程而组织编写的，着重培养学生利用计算机技术解决实际问题的能力；计算机基础教育系列是为大学公共基础课层面的计算机基础教学而设计的，采用通俗易懂的方法讲解计算机的基础理论、常用技术及应用。

本套教材的内容源自致力于教学与科研一线的骨干教师与资深专家的实践经验和研究成果，融合了先进的教学理念，涵盖了计算机领域的核心理论和最新的应用技术，真正在教材体系、内容和方法上做到了创新。同时本套教材根据实际需要配有电子教案、实验指导或多媒体光盘等教学资源，实现了教材的“立体化”建设。本套教材将随着计算机技术的进步和计算机应用领域的扩展而及时改版，并及时吸纳新兴课程和特色课程的教材。我们将努力把这套教材打造成为国家级或省部级精品教材，为高等院校的计算机教育提供更好的服务。

对于本套教材的组织出版工作，希望计算机教育界的专家和老师能提出宝贵的意见和建议。衷心感谢计算机教育工作者和广大读者的支持与帮助！

机械工业出版社

前 言

近年来,计算机绘图和数字图像处理技术发展很快,应用领域越来越广。掌握计算机图形设计及图像处理的基本理论、基本技术和基本算法,并在此基础上进行研究与工作已成为现代社会人才应具备的基本素质之一。

本书介绍计算机图形设计与数字图像处理的基础理论、算法及相应的程序设计方法与技术。全书共分 10 章:第 1 章概述计算绘图的基础知识和图案设计,包括直线图形、曲线图形、递归图形和随机图形的程序设计技术;第 2 章讲解二维图形几何变换、图形的特殊变换程序设计、世界坐标系和屏幕坐标系变换及图形剪裁;第 3 章讲解立体图形屏幕显示、三维图形变换、隐藏线处理及实用程序;第 4 章讲解工程曲线和曲面,介绍圆弧、参数样条曲线、Bezier 曲线、B 样条曲线等工程曲线的设计及工程曲面;第 5 章阐述数字图像处理基础理论,包括离散傅里叶变换、快速傅里叶变换、图像信号的谱、二维 z 变换及其在图像处理方面的应用,以及在 .NET 环境下图像处理的基本技术;第 6 章讲述了图像的尺寸变换、几何变换和基于像素的彩色图像变换;第 7 章介绍数字图像滤波的理论、图像滤波和锐化处理算法及程序实例;第 8 章讲解了如何将彩色图像生成单色灰度图像、灰度图像的对比度处理、图像的边缘抽出等算法及实例;第 9 章介绍图像的二值化和二值图像的处理技术;第 10 章介绍动画和图像特效显示的程序设计。本书附录为将 VC++ .NET 程序代码转换为 C# .NET 代码的说明。

本书内容新颖、简明易懂,全部程序实例均在 Visual C++ .NET 2005 环境下调试通过。书中的程序代码可以很方便地转换为 C# .NET 程序代码,转换方法见本书附录。

本书涵盖“计算机绘图”和“数字图像处理”两门课程的基本理论和基本算法,可作为大专院校“计算机绘图与图像处理”课程的教材,也可作为工程技术人员的参考用书。

本书由李兰友主编。参加编写工作的有天津工业大学的山鹰、刘培、江忠、王俊省、李晖、原晓玲等。本书在编写过程中还得到天津理工大学杨淑莹教授和天津工业大学杨晓军副教授的帮助,在此表示感谢。

由于作者水平有限,不当之处敬请读者指正。

作 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章	计算机图形设计基础	1
1.1	计算机绘图概述	1
1.1.1	概述	1
1.1.2	微型计算机图形系统	1
1.1.3	图形系统输入/输出设备	2
1.1.4	图形坐标系	5
1.1.5	基本图元	7
1.2	基于 Visual C++ .NET 基本图形绘制	8
1.2.1	基本线图形	8
1.2.2	鼠标交互绘图	12
1.2.3	绘制文字	14
1.2.4	图形保存为图像	15
1.3	图案设计	17
1.3.1	直线段图案	17
1.3.2	曲线图案	18
1.3.3	递归图形	22
1.3.4	随机图形设计	25
1.4	设计范例和练习题	27
1.4.1	设计范例	27
1.4.2	练习题	31
第 2 章	二维图形变换与剪切	33
2.1	二维图形的几何变换	33
2.1.1	平移变换	33
2.1.2	比例变换	35
2.1.3	旋转变换	36
2.1.4	镜像变换	36
2.1.5	组合变换	39
2.1.6	利用几何变换设计图案	39
2.2	图形的特殊变换	46
2.2.1	内插法	46
2.2.2	三角函数变换	48
2.2.3	圆环变换	49

2.2.4	球面镜变换	51
2.3	窗口-视见变换和图形剪裁	54
2.3.1	窗口-视见变换	54
2.3.2	二维图形剪裁	55
2.4	设计范例与练习题	56
2.4.1	设计范例	56
2.4.2	练习题	62
第3章	三维图形程序设计	64
3.1	三维图形的屏幕显示	64
3.1.1	坐标系及投影变换	64
3.1.2	物体模型及数据结构	65
3.2	三维图形变换	68
3.2.1	几何变换	68
3.2.2	投影变换	70
3.2.3	应用程序设计	71
3.3	三维图形的绘制	77
3.3.1	函数的立体图	77
3.3.2	球体	80
3.4	三维图形的消隐处理	82
3.4.1	描画顺序法	82
3.4.2	算法法球面消隐	85
3.4.3	函数立体图形隐线处理	87
3.4.4	凸多面体隐藏线处理	89
3.5	设计范例与练习题	90
3.5.1	设计范例	90
3.5.2	练习题	93
第4章	工程曲线和曲面	94
4.1	圆弧曲线	94
4.1.1	圆弧的表示	94
4.1.2	三点画弧	95
4.2	样条曲线	98
4.2.1	三次参数样条插值曲线	98
4.2.2	贝济埃曲线	106
4.2.3	B样条曲线	111
4.3	空间曲面	114
4.3.1	数学曲面	114
4.3.2	Coons 曲面	115
4.3.3	贝济埃曲面	117
4.3.4	B样条曲面	118

4.4	设计范例与练习题	119
4.4.1	设计范例	119
4.4.2	练习题	123
第 5 章	数字图像处理基础	124
5.1	数字图像处理概述	124
5.1.1	概述	124
5.1.2	色彩模型	128
5.1.3	图像信号的时域表示	129
5.1.4	图像信号的谱分析	132
5.1.5	图像处理系统传递函数	137
5.2	Visual C++ .NET 图像的基本操作	141
5.2.1	VC++ .NET 图像处理常用类	141
5.2.2	像素颜色的获取和重构	145
5.2.3	图像的装入	146
5.2.4	图像保存	149
5.2.5	复制和粘贴	149
5.3	设计范例和练习题	151
5.3.1	设计范例	151
5.3.2	练习题	154
第 6 章	图像变换	156
6.1	图像的尺寸变换	156
6.1.1	图像尺寸放大	156
6.1.2	图像尺寸缩小	159
6.2	图像几何变换	162
6.2.1	基于像素的几何变换	162
6.2.2	基于 DrawImage 方法的图像变换	168
6.2.3	基于图形坐标系的变换	174
6.3	彩色图像变换	176
6.3.1	逆反处理	176
6.3.2	浮雕处理	177
6.3.3	镶嵌处理	178
6.4	设计范例与练习题	180
6.4.1	设计范例	180
6.4.2	练习题	181
第 7 章	滤波和锐化	183
7.1	滤波	183
7.1.1	数字滤波器概述	183
7.1.2	卷积滤波	186
7.1.3	局域滤波	193

7.2	边缘锐化	198
7.2.1	微分运算	198
7.2.2	梯度锐化	203
7.2.3	拉普拉斯锐化	206
7.3	设计范例与练习题	207
7.3.1	设计范例	207
7.3.2	练习题	211
第 8 章	对比度与边缘处理	212
8.1	彩色图像生成灰度图像	212
8.1.1	由三基色单色生成灰度图像	212
8.1.2	亮度图像	214
8.1.3	平均算法	215
8.2	对比度处理	216
8.2.1	灰度线性变换	216
8.2.2	增大对比度	217
8.2.3	改善对比度	219
8.2.4	减小对比度	220
8.3	边缘检测	222
8.3.1	拉普拉斯算子	222
8.3.2	Roberts 算子	224
8.3.3	Sobel 算子	226
8.3.4	prewitt 边缘探测模板算子	227
8.3.5	Robinson 算子	229
8.3.6	Kirsch 算子	231
8.4	设计范例与练习题	233
8.4.1	设计范例	233
8.4.2	练习题	235
第 9 章	二值图像	237
9.1	灰度图像的二值化	237
9.1.1	直方图	237
9.1.2	阈值	238
9.1.3	阈值算法图像二值化	240
9.1.4	灰度切片法图像二值化	245
9.2	二值图像形态处理	250
9.2.1	腐蚀	250
9.2.2	膨胀	253
9.2.3	清除孤立点	255
9.3	二值图像测量	258
9.3.1	概述	258

9.3.2	标记法面积测量	258
9.3.3	标记法除去小面积粒子	262
9.3.4	轮廓提取	264
9.3.5	区域边界周长测量	266
9.4	设计范例与练习题	268
9.4.1	设计范例	268
9.4.2	练习题	270
第 10 章	动画和图像特效显示	272
10.1	动画设计	272
10.1.1	位置不动、形态变化的动画	272
10.1.2	位置和形态变化的动画	273
10.1.3	形态不变、位置变化的动画	275
10.1.4	图形动画	276
10.2	图像的特效显示	278
10.2.1	基于像素的特效显示	279
10.2.2	利用 Graphics.DrawImage 方法	289
10.3	设计范例与练习题	292
10.3.1	设计范例	292
10.3.2	练习题	295
附录		297
参考文献		301

第1章 计算机图形设计基础

计算机绘图是指通过程序设计的方法在屏幕上显示生成或处理图形的技术。本章介绍计算机绘图的基础知识和 Visual C++ .NET 图形设计环境。

要求重点掌握：

- 计算机图形系统
- 计算机图形学基本知识
- 图形、图案设计

1.1 计算机绘图概述

1.1.1 概述

计算机图形学是研究计算机绘图领域中各种理论与实际问题的学科。其研究内容是如何在计算机中表示图形，以及利用计算机进行图形的计算、处理和显示的相关原理与算法。

计算机绘图是研究用计算机绘制图形的原理、方法和技术的学科。计算机绘图是计算机图形学的一个分支，它的主要特点是输入非图形信息，经过计算机的处理生成并输出图形。

计算机绘图研究的内容主要包括图形变换的矩阵方法、立体图形的绘制和消隐技术、图形数据库、样条曲线和自由曲面、几何造型、动画技术及其相应的程序设计。

1.1.2 微型计算机图形系统

微型计算机图形系统由硬件和软件两部分组成。硬件系统包括微型计算机主机及其图形输入设备和输出设备；软件系统包括系统软件和绘图应用软件。

1. 微型计算机图形系统的硬件组成

一个完整的交互式绘图系统的硬件组成如图 1-1 所示。

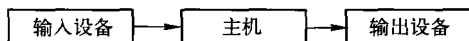


图 1-1 微型计算机图形系统的硬件系统

(1) 主机

主机是微型计算机图形系统的核心设备，包括中央处理器和内存储器，目前大多数系统使用微型计算机。

(2) 辅助存储器

辅助存储器又称为外存储器。常用的辅助存储器有硬盘驱动器、光盘及驱动器等，用于存储图形软件及图形信息。

(3) 输入设备和输出设备

输入设备分为两类：一类是硬件输入装置，如图形数字化仪、鼠标器、扫描仪、数码相

机等，将图形图像信息直接输入到主机；另一类是图形软件输入设备，如键盘，将图形程序送入主机。

图形输出设备通过适配器与主机相连，输出图形信息。图形输出设备也有两种：一种是硬拷贝输出，如绘图机、打印机等；另一种是屏幕图形输出设备，如显示器。

2. 计算机图形系统软件

在计算机图形系统中，软件和硬件相辅相成，构成一个不可分割的整体。目前，计算机图形及 CAD 软件极为丰富，一般可分为系统软件和应用软件两大类。

(1) 系统软件

系统软件一般是由计算机厂家提供的，是为了最大限度地发挥计算机作用，充分开发计算机资源，便于用户使用、管理和维护计算机而编制的程序的总称。系统软件一般包括以下几种。

1) 操作系统及一般管理系统。

这类软件包括常用的 Windows 操作系统、数据库管理系统、驱动程序及通信处理程序等。

2) 高级程序设计语言。

目前，许多高级程序设计语言系统提供了很强的图形处理功能和非常优良的可视化程序设计环境。这为用户进行高级图形处理提供了极大的方便。例如，人们用 Visual Basic 6.0、Visual C++ 6.0 系统开发了许多图形应用程序和 CAD 系统。近年来，微软公司推出的 Visual Basic .NET、Visual C++ .NET、VC# .NET 采用增强的图形装置接口 GDI+ (Graphics Device Interface Plus, 图形设备接口)，进一步增强了二维图形、图像及文字等方面的处理能力。

3) 服务程序或支撑软件。

这类软件协助用户进行软件开发或硬件维护。它包括各种开发工具类软件、编辑程序、诊断排错程序、库管理程序以及一些可供调用的通用性应用程序，如 Auto CAD (二维和三维图形处理平台系统)、GKS (图形核心系统)，还有 Micro CADAM 等软件。

(2) 应用软件

应用软件是用户为解决问题而编制的程序。它包括用户用汇编或高级语言编写的绘图源程序、计算机辅助设计程序、计算机辅助教学演示程序和动画程序等。

随着计算机技术的发展，系统软件和应用软件的界限也越来越模糊。一些有价值的应用软件，已经纳入系统软件之中，作为一种资源提供给用户。

1.1.3 图形系统输入/输出设备

1. 图形数字化仪

图形数字化仪简称数字化仪，是一种将平面上点的位置数字化，并将坐标数据显示或送给计算机的一种外部设备。数字化仪大量地用于工程中设计图样的输入及计算机辅助设计。

数字化仪由电磁感应板、游标和相应的电子电路组成。当使用者在电磁感应板上移动游标到指定位置，并将十字叉的交点对准数字化的点位时，按动按钮，数字化仪则将此时对应的命令符号和该点的位置坐标值排列成有序的一组信息，然后通过接口（多用串行接口）传送到主计算机。

数字化仪按其大小分为大型数字化仪和小型数字化仪；按操作方式可分为自动式数字化仪和非自动式数字化仪。数字化仪的主要指标有以下几种。

- **定标器**：是数字化仪的一种输入、校正工具。通过定标器，用户可以输入所绘制的内容，并且在输入时给予更加准确的定位。目前，定标器是按照按键的数量来划分的，常见的有四键式定标器和 16 键式定标器。定标器的每一个按键都代表着一个方向，按键越多，定位越准确。目前的主流产品以 16 键的定标器为主。
- **分辨率**：在数字化仪上绘制的对象，最终都是被数字化的表示为一个个点的。分辨率是指每英寸上最多可以表示成的点数，点数值越大，绘制出的效果也就越好。数字化仪的分辨率是可以调节的，标识的都是最大值，用户在使用时可以进行调整。同时，数字化仪横向和纵向的分辨率都是一样的，因此基本上就只用一个数字来标识，单位一般用 Lpi。目前，主流的数字化仪的分辨率都已经达到了 10000Lpi 以上。
- **数据传输速率**：是指数字化仪每秒能输出的坐标的对数，单位为“对/秒”。数据数量和传输的波特率有关。波特率是在网络应用中经常使用到一个技术指标，在这里是表示数字化仪和计算机系统交换、传输的速度。它是指每秒钟设备或网络之间能够传输的二进制信息位数，它的单位是 bit/s。波特率越高，数据传输率也就越大。

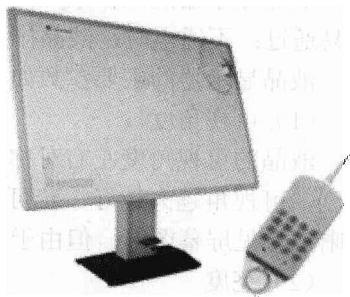


图 1-2 数字化仪

图 1-2 是一种计算机辅助设计中常用的数字化仪。

2. 扫描仪 (Scanner)

扫描仪是一种图形、图像输入设备。由于它可以迅速地将图形或图像输入到计算机中，因而成为图文通信、图像处理、模式识别、出版系统等应用领域的重要输入设备。目前，普遍使用的是线性 CCD（电子耦合器件）阵列构成的电子式扫描仪。

扫描仪的种类比较多，较为常见的有手持式扫描仪、小滚筒式扫描仪和平板式扫描仪。扫描仪的主要性能指标有分辨率、灰度、色彩度、速度和幅面。

- **分辨率**：以每英寸扫描像素点数 (dot/in) 表示。分辨率越高，图像越清晰。目前，扫描仪分辨率在 300~2000dot/in 之间。
- **灰度**：是指图像亮度层次范围。级数越多，图像层次越丰富。目前，扫描仪可达 256 级灰度。
- **色彩度**：在扫描仪的技术参数中，色彩位数是以 bit 为单位的数据，36 位就有百万种颜色；48 位就有亿万种颜色。在使用中当然是颜色（色彩位数）越多越好。
- **速度**：是指在指定的分辨率和图像尺寸下的扫描时间。
- **幅面**：是指扫描仪支持的幅面大小，如 A4、A3、A1 和 A0 等。

3. 数码相机

数码相机是光、机、电一体化的产品，是一种能自动处理拍摄的图像并将图像信息转换为数字文件格式存储、传输的特殊照相机。与传统相机相比，数码相机主要有以下几个优点：

- 1) 数码相机不使用胶片，不像传统摄影需要暗室进行化学冲洗，而是使用存储器来保

存获取的图像。

2) 数码相机获取的图像可以直接输入至计算机、电视机或者打印机,在一定条件下还可以输入到移动式电话机或便携式电脑上。

3) 数码相机拍摄得到的照片可立即通过数码相机的液晶显示屏观看效果。

4) 数码摄影获取的数字图像文件便于计算机处理和通过网络远距离传输。

5) 新型的数码相机还有声音记录功能。

3. 液晶显示器

液晶显示器的主要优点在于体积小、厚度薄、重量轻和低辐射等。它是基于液晶电光效应的显示器件,包括段显示方式的字符段显示器件;矩阵显示方式的字符、图形和图像显示器件;矩阵显示方式的大屏幕液晶投影电视液晶屏等。

液晶显示器的工作原理是利用液晶的物理特性,在通电时液晶排列变得有秩序,使光线容易通过;不通电时,液晶排列则变得紊乱,阻止光线通过。

液晶显示器的主要参数如下。

(1) 可视角度

液晶的可视角度左右对称,而上下则不一定对称。一般情况是上下角度小于或等于左右角度,可视角越大越好。若可视角为左右 80° ,则表示在始于屏幕法线 80° 的位置时,可以清晰地看见屏幕图像。但由于人的视力范围不同,则还需要以对比度为准。

(2) 亮度

TFT 液晶显示器可接受亮度为 150cd/m^2 以上。目前, TFT 液晶显示器亮度基本在 200cd/m^2 左右。

(3) 响应时间

响应时间反映了液晶显示器各像素点对输入信号反应的速度,此值越小越好。响应时间越小,运动画面才不会使用户有尾影拖拽的感觉。

(4) 显示色素

目前,液晶显示器只能显示高彩(256K),因此,许多厂商多使用 FRC (Frame Rate Control) 技术以仿真的方式来表现出全彩的画面,而全彩画面还必须依赖显示卡的显存。

4. 绘图仪

绘图仪是一种图形输出设备,它可将计算机的输出信息以图形的形式输出,主要可绘制各种管理图表、统计图、大地测量图、建筑设计图、电路布线图、各种机械图与计算机辅助设计图等。

在计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD) 与计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, CAM) 中,绘图仪是必不可少的外部设备,它能将图形准确地绘制在图纸上输出,供工程技术人员参考。

绘图仪一般由驱动电机、插补器、控制电路、绘图台、笔架和机械传动等部分组成。绘图仪除了必要的硬件设备之外,还必须配备丰富的绘图软件。只有软件与硬件结合起来,才能实现自动绘图。

绘图仪的种类很多。从原理上分类,绘图仪分为笔式、喷墨式、热敏式和静电式等,而从结构上分,又可以分为平台式和滚筒式两种。

绘图仪所绘图也有单色和彩色两种。目前,彩色喷墨绘图仪绘图线型多,速度快,分辨

率高，价格也不贵，很有发展前途。图 1-3 为惠普公司的一款绘图仪。

5. 打印机

打印机是一种被广泛应用的输出设备。常见的打印机有 3 大类：针式、彩色喷墨和激光打印机。

(1) 针式打印机

针式打印机在打印机历史的很长一段时期里曾经占有着重要的地位。现在主要用于银行和商务工作中的单据打印。

(2) 彩色喷墨打印机

彩色喷墨打印机的特点是打印效果良好，价格便宜和纸张处理灵活。

喷墨打印机分为机械和电路两大部分，下面主要来看看机械部分。它通常包括墨盒和喷头、清洗系统、字车机械、输纸机构和传感器几个部分。墨盒和喷头有两种类型，一种是二合一的一体化结构；另一类是分离式结构。两种方式各有好处。清洗系统是喷头的维护装置。字车机械用于实现打印位置定位。输纸机构提供纸张输送功能，运动时它必须和字车机械很好地配合才能完成全页的打印。而传感器是为检查打印机各部件工作状态而特设的。

(3) 激光打印机

激光打印机是近年来兴起的一种打印机，分为黑白和彩色两种。它提供了更高质量、更快速和更低成本的打印方式。

打印机的性能指标如下。

1) 分辨率：分辨率是指每英寸可打印的点数，单位是 dot/in 。它是衡量打印质量的一个重要标准。分辨率的值越高，打印效果越好。

2) 打印速度：打印速度是指每分钟打印的页数，单位是 ppm (page per minute)。

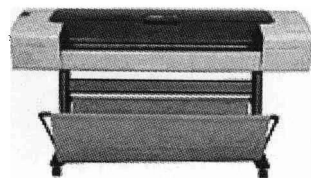


图 1-3 绘图仪

1.1.4 图形坐标系

为描述点的位置，通常使用坐标系。在计算机图形学中，坐标系有用户坐标系（笛卡儿坐标系）和设备坐标系。用户坐标系又称为世界坐标系，设备坐标系又称为屏幕坐标系。

1. 世界坐标系

(1) 二维世界坐标系

二维世界坐标系又称为平面直角坐标系。由水平方向的 x 轴和垂直方向的 y 轴组成，坐标表示在 x 方向和 y 方向的数目。其原点在 $(0,0)$ 处，并可使用负的坐标值，如图 1-4 所示。

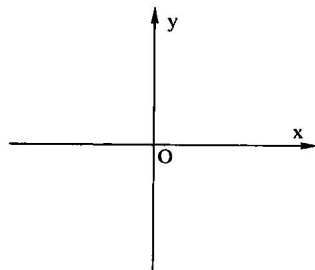


图 1-4 二维世界坐标系

(2) 三维世界坐标系

三维世界坐标有两种表示方式，如图 1-5 所示。图 1-5a 的 xyz 轴的方向满足右手定则，称为右手坐标系；图 1-5b 的 xyz 轴的方向满足左手定则，称为左手坐标系。在计算机图形学中，三维直角坐标常采用左手坐标系。将右手坐标系空间点转为左手坐标系空间点很简单，只需将 z 坐标取负即可。坐标系确定之后，空间中任一点的位置即可用坐标表示。

(3) 极坐标系和球坐标系

二维直角坐标系中的点的坐标 (x, y) 还可使用它的矢径和幅角来表示：

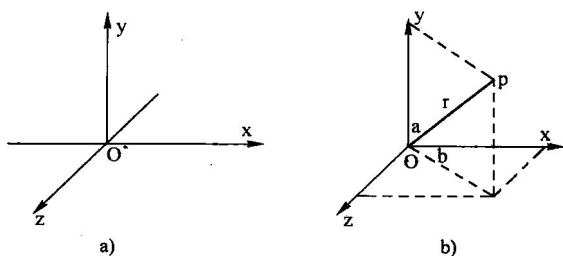


图 1-5 三维世界坐标系

a) 三维世界坐标系 b) 右手坐标系

$$x=r \sin (a)$$

$$y=r \cos (a)$$

称为极坐标系。

如图 1-6 所示，球坐标系是使用点的幅角和矢径表示三维直角坐标系的点的坐标(x, y, z):

$$z=r \sin (\alpha) \sin (\beta)$$

$$x=r \sin (\beta) \cos (\beta)$$

$$y=r \cos (\alpha)$$

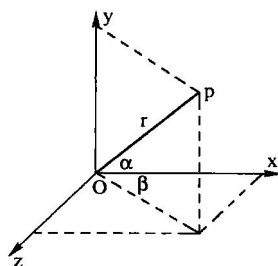


图 1-6 球坐标系

2. 设备坐标系

为描述图形的点在图形载体上的位置，使用设备坐标系。Visual C++ .NET 在进行图形处理时的设备坐标系有窗体坐标系和窗体内控件对象坐标系。

(1) 窗体坐标系

如图 1-7 所示，窗体上除标题栏和窗体边框以外的可供使用的区域称为工作区。在工作区内，窗体坐标系的原点在窗体工作区的左上角。原点为 (0, 0)，从左向右为 x 坐标轴正方向，从上向下为 y 坐标轴正方向，坐标的单位默认为像素。

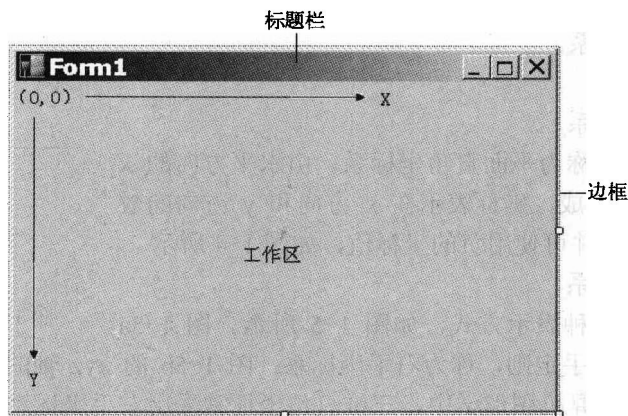


图 1-7 窗体坐标系

(2) 窗体内控件对象坐标系

在图形处理中，可使用的对象除了窗体外，通常使用图片框。使用图片框对象处理图形

时，系统默认坐标系的原点在其工作区的左上角，水平向右为 x 轴，垂直向下为 y 轴。

在窗体上绘图的过程就是以某种颜色结构所定义的颜色点亮指定位置的像素的过程。例如，使用 Visual C++ .NET 的 DrawLine() 方法从点 $P_1(x_1, y_1)$ 到点 $P_2(x_2, y_2)$ 画一条直线段，这里 x_1, y_1, x_2, y_2 就是点的实际坐标值。语句

```
Pen^ myPen =gcnew Pen(System::Drawing::Color::Red);    //建立画笔
Graphics^ formGraphics;
formGraphics = this->CreateGraphics();
formGraphics->DrawLine(myPen, 0, 0, 200, 200);          //画线
```

表示使用建立的画笔 myPen 在窗体坐标系的点 (0, 0) 到 (200, 200) 之间画一条直线。

在 Visual C++ .NET 中，能够处理图形和图像的控件对象只有 Form 窗体和图片框 (PictureBox)。在图片框内进行图形处理时，其坐标系的规定与窗体相同。

1.1.5 基本图元

在计算机绘图中，一些复杂的二维图形往往是有一些基本图形（如点、直线、圆、曲线等）组合而成的。这些基本图形称为图元，图元常常由系统直接产生并供用户调用。点是组成图形的基本单位。在屏幕坐标系下，点用一个像素及其对应的坐标来表示，每个像素代表屏幕上的一个小矩形区域，屏幕可以看做是一个像素的矩阵。点亮一个像素可以看成是在屏幕上画一个点。直线是最基本的图形元素，线段是像素的有机集合，线段的最小宽度就是一个像素。在屏幕上画一条直线段可以看成是在屏幕的像素矩阵中，确定最接近于该直线的一组像素的坐标，并将其置成规定的颜色点亮它。

1. 点

集合中的点是无小的，它只有坐标位置而没有大小。在计算机绘图中，点是有大小的，它的大小就是像素。我们在屏幕上画一个点，实际上就是以一定的颜色点亮屏幕上的这个像素。像素的大小取决于屏幕的尺寸和分辨率。屏幕上点的位置用坐标表示。

2. 直线生成算法

直线是组成图形的最基本、最常用的元素。因此要求生成速度要快、线段质量要好，要尽量逼近理想直线，且粗细均匀并可以选择不同的线型和颜色。

直线生成的算法很多。常用的算法有数值微分法 (Digital Differential Analyer, DDA)、中点画线法和 Bresenham 画线法。

在光栅扫描显示器上生成一条直线一般采用数值微分法。设直线的起点坐标为 (x_1, y_1) ，终点坐标为 (x_2, y_2) ，则直线的斜率为

$$(dx/dy)=(y_1-y_1)/(x_1-x_2)=k$$

画线的过程是，从 x 的左端点 x_1 开始，向 x 的右端点步进，步长=1（像素），按 $y=kx+b$ 计算相应的 y 坐标并取像素点 $(x, \text{round}(y))$ 作为当前点的坐标。示意图如图 1-8 所示。

一般而言，通常设步长为 Δx ，则有

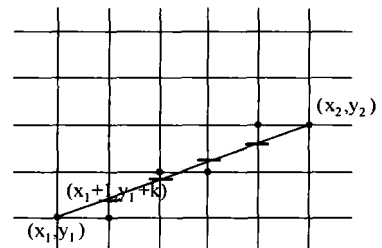


图 1-8 DDA 直线扫描转换算法示意图