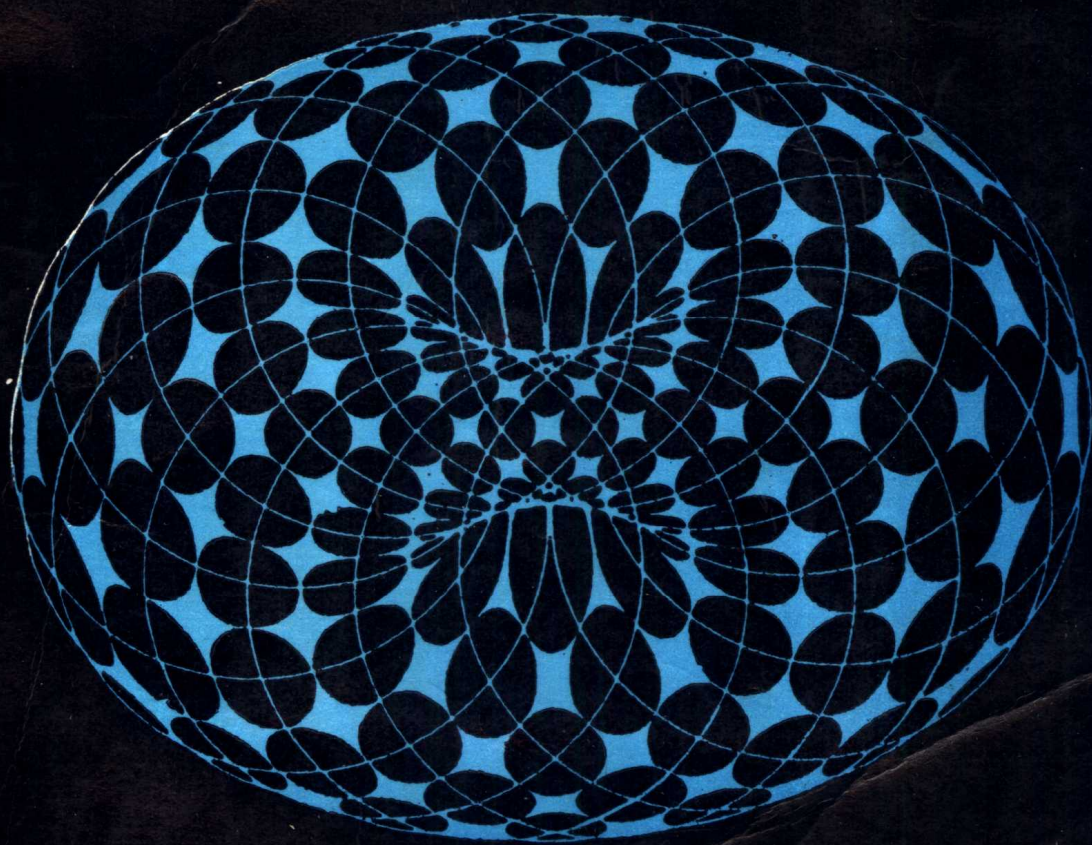


刘子建 黄红武 黄素华 编著

计算机图形处理原理 与CAD应用技术

湖南科学技术出版社



计算机图形处理原理 与 CAD 应用技术

刘子建 黄红武 黄素华 编著

湖南科学技术出版社

湘新登字 004 号

计算机图形处理原理与 CAD 应用技术

刘子建 黄红武 黄素华编著

责任编辑：何信媛

*

湖南科学技术出版社出版发行

(长沙市展览馆路 3 号)

湖南省新华书店经销 湖南省新华印刷二厂印刷

*

1992 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

开本：787×1092 毫米 1/16 印张：26.25 插页：1 字数：653,000

印数：1—7,000

ISBN 7—5357—1079—

TP·34 定价：10.00 元

地科 106—15

前 言

近年来,国内以微机为基础的计算机辅助设计、绘图(CAD、CAG)技术发展迅速。越来越多的工科院校和专业开设了CAD、CAG课程,许多科研院所和工矿企业都逐步在工程设计中采用了CAD技术。为了适应人们对计算机图形处理和辅助设计知识的迫切需要,本书作者在总结多年教学、科研及CAD应用软件开发经验的基础上,编著了本书。

本书力求将计算机图形处理的基本原理和工程应用紧密结合,使读者不仅对图形处理的基本原理和程序设计方法有比较全面深入的了解,而且能掌握基于通用图形系统软件(AutoCAD、CADKEY等)进行二次开发的知识和方法,从而解决实际工作中的应用问题。

编著本书时,作者除了讲清图形处理的基本原理外还力求揭示各种算法之间的内在联系。在介绍图形处理的各种算法时,注意使其与实现这些算法的程序设计方法紧密结合;在分析和建立各种数学模型的同时,又给出了经过精选的程序设计实例,并提供了详细的流程框图。从而帮助读者建立起关于图形处理原理和方法的完整概念,而不仅仅局限于对个别程序的理解。

目前,在我国以微机为基础的CAD工作中,大部分都是采用通用交互式图形系统软件如AutoCAD和CADKEY等处理图形,因而人们面临的问题常常不是如何建立自己的图形处理系统,而是如何使用这些通用的图形系统软件,以及如何结合实际应用问题对通用图形系统进行二次开发。完全可以说,从实用的角度来看,这方面的知识和技术是目前教学和实际应用中更为需要和缺乏的。基于此种认识,本书讨论了通用图形系统软件二次开发的原理和技术。作者首先论述了二次开发的一般理论和实践问题,接着将二次开发工作科学地分为数据文件共享、图形系统用户化和通过嵌入式语言开发三大类,并针对这三类开发方式展开了详细的讨论,提供了丰富的实例和程序文本,使读者不仅可以掌握计算机图形处理的基本原理和图形软件的设计方法,而且能自己动手设计和研制符合实际设计需要的CAD应用软件。

本书中许多内容与程序来源于作者近年的教学和科研成果,其中一些内容还是第一次公开发表,在这里毫无保留地奉献给读者,期望读者能真有所获。

本书的全部程序均采用BASIC语言编写,在IBM PC/XT机上调试通过。每

章都配有习题。本书可用作大专院校本、专科学生及各专业研究生计算机绘图与CAD课程的教材,也可作为有关专业教师的教学参考书或从事CAD、CAG工作的工程技术人员参考资料。

全书共分为十二章和三个附录,第一、二、三、四、五、七、八章分别由刘潭玉、戴立伶、唐红娥、黄素华、黄红武、彭秋平、熊逸珍编写,第六章由黄素华、黄红武编写,第九章由刘子建、杨伶编写,第十、十一、十二章由刘子建编写,附录由杨伶同志编写。全书由刘子建、黄红武、黄素华主编。尹溪云副教授负责全书的主审,并提出了许多宝贵的意见。卿钧教授、秦惟敏副教授对本书的编著给予了大力支持。全书的描图工作由杨慧庄同志承担。尤其是何信媛同志为本书的编辑出版给予了热情的支持并付出了辛勤的劳动。在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

编著者

1992年于长沙·湖南大学

目 录

第一章 绪 论

§ 1-1 计算机图形处理研究的基本内容	(1)
§ 1-2 计算机图形处理与 CAD、CAM 技术、图像处理及模式识别的关系	(2)
一、计算机图形处理与 CAD、CAM 技术的关系	(2)
二、图形处理、图像处理与模式识别的关系	(2)
§ 1-3 计算机绘图的基本原理	(3)
一、计算机绘图系统	(3)
二、绘图机 (仪) 的功能及插补原理	(4)
§ 1-4 计算机图形处理技术的研究、发展概况	(11)
§ 1-5 计算机图形处理与应用	(13)
思考题	(14)

第二章 计算机图形处理硬件

§ 2-1 计算机	(15)
一、计算机的基本结构	(16)
二、计算机的工作过程	(17)
三、异步通讯控制器	(17)
四、连接方法	(18)
§ 2-2 图形数据输入设备	(20)
一、字符键盘	(20)
二、图形数字化仪	(21)
三、光笔	(22)
四、鼠标器	(22)
§ 2-3 图形显示输出设备	(23)
一、图形显示器	(24)
二、绘图仪	(25)
三、打印机	(27)
思考题	(27)

第三章 BASIC 语言和图形处理基本命令简介

§ 3-1 基本概念	(28)
一、基本符号	(28)
二、常数	(28)
三、变量	(29)
四、函数	(29)

五、运算符和表达式	(30)
§ 3-2 输入输出语句	(31)
一、赋值语句—LET 语句	(31)
二、键盘输入语句—INPUT 语句	(32)
三、读数/置数语句—READ/DATA 语句	(32)
四、恢复数据语句—RESTORE 语句	(33)
五、输出语句—PRINT 语句	(34)
六、应用举例	(35)
§ 3-3 控制语句	(36)
一、无条件转移语句—GOTO 语句	(36)
二、条件语句—IF 语句	(36)
三、控制转移语句	(37)
四、循环语句—FOR/NEXT 语句	(37)
五、暂停语句—STOP 语句	(40)
六、注释语句—REM 语句	(40)
§ 3-4 子程序·转子语句 (GOSUB) 和返回语句 (RETURN)	(40)
§ 3-5 数组说明语句—DIM 语句	(42)
§ 3-6 字符串	(43)
一、赋值语句 (LET) 中的字符串	(43)
二、读数/置数语句 (READ/DATA) 中的字符串	(44)
三、键盘输入语句 (INPUT) 中的字符串	(44)
四、条件语句 (IF) 中的字符串	(44)
五、字符串数组	(45)
六、字符串函数	(45)
§ 3-7 上机操作与程序调试	(48)
一、系统的启动	(48)
二、程序输入有错误时的修改方法	(48)
三、程序的显示、打印、运行和存取	(49)
四、调试程序	(49)
§ 3-8 图形处理基本指令	(50)
一、屏幕显示语句—SCREEN 语句	(50)
二、彩色语句—COLOR 语句	(51)
三、画点语句—PSET 语句	(51)
四、画线语句—LINE 和 DRAW 语句	(51)
五、画圆语句—CIRCLE 语句	(52)
习题	(53)
第四章 二维图形的计算机生成	
§ 4-1 二维直线图形	(55)
一、几种参考坐标系	(55)
二、二维直线图形程序设计	(57)
三、二维直线图形绘图程序实例	(59)
§ 4-2 规则平面曲线	(63)
一、圆弧和圆的子程序设计	(64)

二、虚线圆弧子程序设计	(64)
三、椭圆的子程序设计	(66)
四、渐开线程序设计	(67)
五、涡线子程序设计	(68)
§ 4-3 几何计算及连接子程序设计	(69)
一、求两线段交点	(69)
二、线段连接	(72)
§ 4-4 剖面线程序设计	(80)
一、剖面域	(80)
二、剖面线方程	(80)
三、剖面线绘制过程的特点	(81)
四、剖面线子程序设计的基本方法	(81)
§ 4-5 尺寸标注程序设计方法	(92)
一、线性尺寸的子程序设计	(92)
二、角度尺寸的子程序设计	(94)
§ 4-6 表面粗糙度符号的子程序设计	(95)
§ 4-7 二维图形变换	(97)
一、点的变换	(97)
二、直线的变换	(101)
三、平面图形的变换	(102)
四、平面图形的齐次坐标变换	(106)
五、组合变换	(109)
习题	(112)

第五章 三维图形

§ 5-1 三维图形生成的基础知识	(115)
一、直线	(116)
二、平面	(116)
三、直线与平面的交点	(117)
四、点到平面的距离	(117)
五、两直线的交点	(118)
六、三平面的交点	(119)
七、两平面的交线	(121)
§ 5-2 三维图形的几何变换	(122)
一、三维比例变换	(122)
二、三维错切变换	(124)
三、三维镜射变换	(124)
四、三维平移变换	(125)
五、三维旋转变换	(126)
六、变换的组合	(128)
七、逆变换	(128)
§ 5-3 三维图形的投影变换	(129)
一、正投影变换	(129)
二、三维轴测投影变换	(132)

三、透视变换	(136)
§ 5-4 三维图形变换的程序设计	(140)
一、平面立体三视图的程序设计	(141)
二、带曲面的组合体三视图的程序设计	(146)
三、平面立体正轴测图的程序设计	(148)
四、曲面立体正轴测图的程序设计	(151)
五、平面和曲面立体斜二测图的程序设计	(155)
六、三维透视图的程序设计	(157)
§ 5-5 图形的显示输出	(159)
一、窗口与视图区	(160)
二、窗口—视图区变换	(160)
三、二维图形的裁剪	(162)
四、三维裁剪的概念	(165)
习题	(166)

第六章 自由曲线与曲面

§ 6-1 三次样条曲线	(168)
一、三次样条函数的力学及数学模型	(169)
二、三次样条函数的构成	(169)
三、三次样条曲线程序设计	(172)
四、三次参数样条曲线	(174)
§ 6-2 Bézier 曲线	(174)
一、二次 Bézier 曲线	(175)
二、三次 Bézier 曲线	(176)
三、Bézier 曲线的一些重要性质	(176)
四、三次 Bézier 样条曲线	(177)
五、Bézier 曲线程序设计	(177)
§ 6-3 B 样条曲线	(178)
一、二次 B 样条曲线	(178)
二、三次 B 样条曲线	(179)
三、三次 B 样条曲线的性质	(180)
四、满足端点条件的三次 B 样条曲线的处理	(181)
五、三次 B 样条曲线的特殊造型技巧	(182)
六、B 样条曲线生成程序	(183)
§ 6-4 多边形网格	(184)
一、直接表示多边形的方法	(186)
二、用指向顶点表的指针来定义多边形	(186)
三、直接用边表示多边形	(186)
§ 6-5 双三次参数曲面	(187)
一、双三次参数曲面片	(187)
二、Coons 曲面片的连接	(190)
§ 6-6 Bézier 曲面	(192)
§ 6-7 B 样条 (B—Spline) 曲面	(194)
§ 6-8 几种曲线、曲面的比较	(194)

习题	(196)
第七章 几何造型系统基础知识	
§ 7-1 概述	(197)
一、几何造型系统的基本概念	(197)
二、几何造型系统的功能与现状	(199)
§ 7-2 形体表示的常用模式	(200)
一、形体对表示模式的要求	(200)
二、几种常见的表示模式	(202)
三、表示模式的特点、比较	(206)
§ 7-3 几何造型系统的算法和技术	(207)
一、隐藏线的消除	(207)
二、图形的层次结构	(217)
三、几何造型常用的数据结构	(220)
思考题	(226)
第八章 通用图形系统软件 CADKEY 简介	
§ 8-1 概述	(227)
一、CADKEY 系统的启动运行	(227)
二、CADKEY 系统对硬件的要求	(228)
三、CADKEY 系统的安装	(228)
四、CADKEY 系统环境的配置	(228)
五、DOS 下 CADKEY 系统的启动	(230)
§ 8-2 CADKEY 系统的工作方式	(230)
一、屏幕的分区及各区域的作用	(230)
二、图形显示及其控制	(231)
三、光标及其它符号	(231)
四、菜单及菜单项选择	(232)
五、系统状态及其控制	(233)
六、直接方式命令	(234)
七、提示及其响应方式	(235)
八、图形存贮和输出	(236)
九、系统构图要素	(236)
§ 8-3 实体选择与空间定位	(237)
一、选择屏蔽	(238)
二、选择菜单中的实体选择方式	(239)
三、空间定位	(240)
§ 8-4 显示管理和系统控制	(241)
一、层次管理 [LEVEL]	(241)
二、视图管理 [VIEW]	(242)
三、图形缩放 [ZOOM]	(244)
四、网格控制 [GRID]	(245)
五、深度选择 [DEPTH]	(245)
§ 8-5 实体建立	(246)
一、直线段的建立 [LINE]	(246)

二、圆弧的建立 [ARC]	(247)
三、圆的建立 [CIRCLE]	(248)
四、倒角 [FILLET]	(249)
五、多边形的建立 [POLYGON]	(249)
六、样条的建立 [SPLINE]	(251)
七、实体修剪和延伸 [TRM/EXT]	(252)
八、图形变换 [X-FORM]	(253)
九、尺寸标注	(254)
§ 8-6 文件管理	(258)
习题	(260)
第九章 通用图形系统软件 AutoCAD 简介	
§ 9-1 概述	(262)
§ 9-2 AutoCAD 的常用命令	(267)
§ 9-3 图层、线型与三维能力	(277)
习题	(280)
第十章 通用图形系统软件二次开发的一般知识	
§ 10-1 概述	(282)
§ 10-2 通用图形系统软件的二次开发	(282)
一、微机通用图形软件系统的局限性	(282)
二、图形系统软件二次开发工作的主要内容	(283)
§ 10-3 CAD 应用软件开发的一般步骤和方法	(289)
一、概述	(289)
二、应用软件系统的分析与设计	(289)
三、设计资料的数据处理方法	(294)
四、应用软件用户界面的设计与开发	(298)
习题	(307)
第十一章 通用图形软件系统数据文件接口及开发	
§ 11-1 DXF 文件的结构及接口程序	(308)
一、DXF 文件的结构	(308)
二、DXF 文件接口程序	(317)
§ 11-2 CADL 文件格式和接口程序	(323)
一、概述	(323)
二、CADL 文件的数据图素	(324)
三、CADL 文件的特点和接口程序	(329)
§ 11-3 一个多功能图形接口软件的设计与使用	(334)
一、概述	(334)
二、七位图形数据文件	(335)
三、BSKEY 信息处理数据结构	(336)
四、图形数据程序的编写	(337)
五、BSKEY 的使用方法	(341)
六、用 BSKEY 开发 CAD 应用软件的一般方法	(345)
习题	(345)

第十二章 通用图形系统的用户化开发

§ 12-1 图形系统软件操作界面用户化	(346)
一、AutoCAD 菜单文件及编写	(346)
二、CADKEY 的宏文件及数字化仪菜单的建立	(356)
§ 12-2 操作指令集成	(351)
一、命令组文件和幻灯文件	(351)
二、CADKEY 的宏指令	(364)
§ 12-3 用户专用图形数据库开发	(366)
一、形的定义	(367)
二、形文件生成与形实体的插入	(369)
三、形的应用和接口程序	(370)
§ 12-4 嵌入式语言 AutoLisp 及其应用	(373)
一、概述	(373)
二、AutoLisp 的程序结构	(374)
三、AutoLisp 的函数	(377)
四、AutoLisp 应用举例	(390)
习题	(396)
附录一 矩阵及其运算规则	(397)
附录二 行编辑程序 EDLIN 简介	(401)
附录三 常用 DOS 命令简介	(403)

第一章 绪 论

图样是表达和交流技术思想的重要工具之一,它运用于生产已有很长的历史了。随着生产的发展,图样也在不断地发展。为了绘制图样,人们在实践中不断地创造出各种绘图工具,从简单的三角尺、圆规、丁字尺直到复杂的机械式绘图机,都未摆脱手工方式进行绘图。而手工绘图又是一项劳累、繁琐、费时间的工作。能自动地产生并绘出图样,是人们长期以来梦寐以求的愿望。在出现了计算机以后,这种愿望终于变成了现实。

电子计算机是一种能自动高速进行大量数字处理和运算的电子设备。当人们探讨了数字与图形之间的内在关系后,发现在图形和数字之间可以建立某种转换关系,利用电子计算机来进行图数之间的转换。计算机图形处理和应用技术不仅表现在速度、精度和节约人力方面,更为突出之处是把人们的聪明才智用到有效的创造性的设计思维中去。

§ 1-1 计算机图形处理研究的基本内容

计算机图形处理技术是伴随电子计算机及其外围设备的产生而发展起来的。它是近代计算机科学与雷达、电视技术发展汇合所产生的硕果,是计算机应用的一个重要方面。

计算机图形处理自 60 年代初形成以来,已经发展成为以图形硬件设备、图形专用算法和图形软件系统等为研究内容的一门成熟的学科。简单地说,计算机图形处理是研究用计算机生成图形的一门学科。这样讲往往容易使我们与计算机图像处理(Tmage Processing)相混淆,因为二者的输出结果都是图形或图像,因此,我们应该对计算机图形处理的基本内容给出一个确切的描述,即计算机图形处理是研究如何利用计算机来产生人们所需要的各种图形。在这里,强调了“产生”二字,也就是说,人们输入到计算机的信息并不是图形本身,而是描述图形的各种数据或与图形有关的信息,经过计算机系统处理以后,输出的结果就是我们所要求的图形。

例如:为了使计算机产生并画出一条直线,我们只要输入直线起点 (x_1, y_1) 和终点 (x_2, y_2) 的坐标;要使计算机产生并画出一个圆,我们只要输入圆的中心坐标 (x, y) 和半径 R ,经过计算机处理,就能产生并画出我们所需的直线和圆(图形)。通常我们把完成这样一个过程的计算机系统称为计算机图形处理系统,简称为图形系统。

利用计算机产生图形的一个非常方便的处理方式就是交互式处理,即采用人机对话的方式,这种方式可使用户对计算机产生的图形进行人工干预,可随时对图形进行修改,直到用户满意为止。目前,采用交互式构造图形系统已成为一种普通的形式,而且在以后也将是一个主要的图形系统构造方式。因此,人们把计算机图形处理称为交互式计算机图形处理。

计算机图形处理已成为一门成熟的学科。目前,作为商品的图形软件已能方便地生成各种线画图形和自然景物的真实感图像,而且价格日趋下降,所有现代科学和工程领域几乎都

采用计算机图形以加强信息的传递和理解。因此，当今的科学家和工程师都需具备计算机图形处理和应用技术的基本知识。

§ 1-2 计算机图形处理与 CAD、CAM 技术、图像处理及模式识别的关系

一、计算机图形处理与 CAD、CAM 技术的关系

我们常说的计算机辅助设计 (Computer Aided Design)，简称 CAD，计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacture)，简称 CAM，它们是在人的参与下，利用计算机系统，对设计对象进行最佳设计。其中包括资料检索、计算、确定结构形状、自动绘图等。通俗地说，在设计中利用计算机进行设计、计算和绘图、数控加工等作业。

使用 CAD 技术可以提高设计质量。由于计算机具有高速、准确的运算功能，因此，以往在人工设计的情况下难以完成的计算，现在可以由计算机快速而精确地完成。在设计过程中，设计者总是力求用反复改变参数和评价中间结果来使设计达到最优化。中间结果的计算、分析、比较是一件很复杂繁琐的工作，显然，这一工作由计算机来承担是很合适的。

使用 CAD 技术可节约宝贵的人力，减少设计人员非创造性工作。某些资料表明，在设计工作中进行创造性工作的时间只占 32%，绘图及改图时间占 37%，编制明细表的时间占 15%，其它日常事务工作时间占 16%。采用 CAD 技术能使设计人员从繁琐的甚至是枯燥乏味的绘图、制表等劳动中解脱出来，去从事创造性的工作。从而可以充分发挥设计人员的作用。

使用 CAD 技术也可以缩短设计周期，使产品不断更新换代，提高产品的竞争能力。计算机图形处理虽然只涉及到与图形相关的部分，但凡是 CAD 技术应用到的方面，都离不开计算机图形处理。所以，人们通常认为计算机图形处理是 CAD 技术的基础，利用计算机产生图形的技术是 CAD 技术中的核心技术。

通过以上的论述，我们知道，CAD 和图形处理主要是用于工程设计和制图阶段，对于实际的生产与加工而言，它们还只是一个初级阶段。现代化的生产除了现代化的设计、自动绘图以外，人们更希望的是能够进行自动化生产，所以计算机辅助制造技术正是为达到这一目的的一个重要手段。CAM 技术通过计算机直接控制加工设备，使它能自动地加工产品，其产品的数量和质量都远远优于人工。例如，数控机床、数控切割机，其 CAM 的一般过程为：先由 CAD 技术和计算机图形软件产生一个完整的并符合加工要求的数控语言，通过这些语言去控制数控机床或数控切割机。从而使 CAD、自动绘图和 CAM 成为一体，这三者的关系如图 1-1 所示。

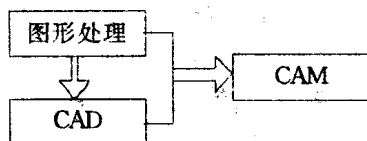


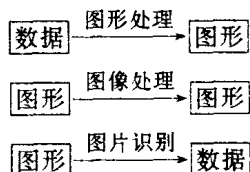
图1-1 图形处理、CAD、CAM间的关系

二、图形处理、图像处理与模式识别的关系

图形处理、图像处理和模式识别这三者有共同之处，也有本质上的区别。如果我们考虑的模式识别是指图片识别，那么这三者的共同之处就是计算机所处理的都是一些有关图形的

信息。可是从处理的方法上讲，这三者的本质是不同的，其不同点如下：

(1) 计算机图形处理涉及的是从一些数据到产生一幅图形这样一个处理过程；而图像处理涉及的是从图形到图形这样一个过程；图片识别涉及的过程正好与图形处理的过程相反，即从图形到数据。这三者的上述关系可表示为：

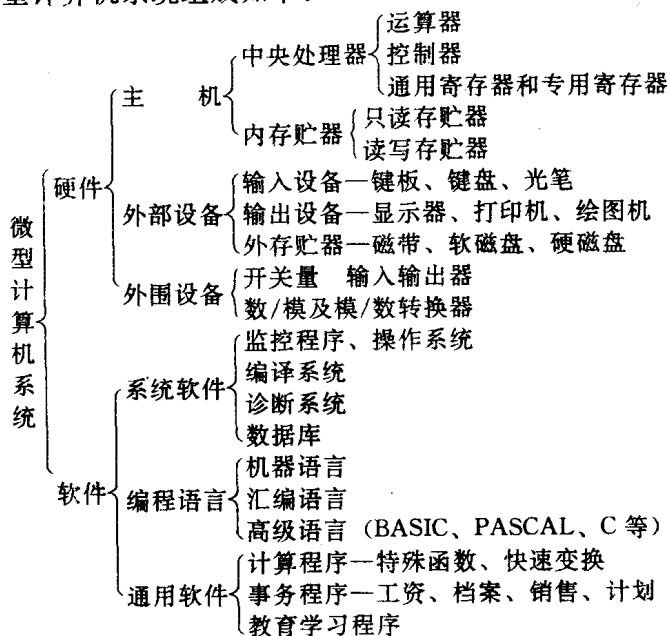


(2) 从处理方法上讲，图形处理是利用计算机构造一幅图形以及进行一些几何变换。而图像处理则是对所输入的图形进行某些改造或改进，其中图像增强是突出图像中某些需要的信息，削弱或除去某些不需要的信息。如改进一些过分曝光或模糊不清的照片，使其更为清楚。或抽出照片中一部分进行修整等；图像复原就是把退化了的图像加以重建和恢复；还有图像定位、图像分割等。模式识别则是对输入的图形进行分析后获得一些特征数据，从而达到识别的目的。例如为诊断人的健康，要分析各种数据，它们或表达成曲线，或表达成图像，这种分析就是一个模式识别问题，还有商业自动化中的自动售货机、自动检票机、硬币兑换机都是模式识别技术的应用。

§ 1-3 计算机绘图的基本原理

一、计算机绘图系统

计算机绘图系统主要由计算机、控制机和绘图机组成，再辅以其它外围设备，整个系统可以在“联机”或“脱机”情况下进行工作。硬设备（硬件）在工作过程中总离不开软件。一般微型计算机系统组成如下：



1. 联机系统与脱机系统

联机系统的特点是主计算机通过接口与自动绘图机直接相连。联机方式的特点是主计算机直接控制绘图机。由于在这种情况下,绘图机占用主机时间过长,不能充分发挥计算机高效的特点。在大型计算机系统中,大部分采用脱机方式。所谓脱机,是指主计算机不与绘图机直接联接,由主机对图形进行信息加工,将加工好的信息记入指定的磁带、磁盘。当需要绘图时,将磁带或磁盘的信息调出,用专用计算机进行绘图。

2. 硬件与软件

组成计算机绘图系统基本结构的物理装置统称硬件,如主机、显示器、键盘以及信息输入与输出设备。软件是各种程序的总和,分系统软件、支撑软件和应用软件三大类,用于使用和管理计算机的软件称系统软件。用户利用计算机以及它所提供的各种系统软件编制解决各种实际问题的程序称为应用软件,如各种绘图软件。对绘图软件逐步标准化、模块化、能解决各种典型专业问题的应用程序的组合称专用绘图软件包;用以解决一般绘图的应用程序的组合称通用绘图软件包;具有菜单选择,对图形能进行实时修改、删除和具有对图形进行各种编辑功能、进行人工对话的软件包称为交互图形软件包。如 AutoCAD 软件包、CADKEY 软件包以及 AppleCAD 软件包等。

3. 维数

图形按维数分 2 维图形、2.5 维图形、3 维图形。2 维图形是由二维坐标组成的平面图形;2.5 维图形是指二维半的图形,即将 XY 平面上的平面平行于 Z 轴移动后所定义的立体,这种立体沿 Z 轴方向上下是一样大的图形,也称假三维图形;3 维图形是由三维坐标组成的空间图形。

二、绘图机(仪)的功能及插补原理

1. 绘图机(仪)的功能

绘图机画笔的运动是由步进电机提供的,步进电机则是每接受一个电脉冲信号就转动一个角度。通过机械传动机构的作用,又把步进电机的转角变成画笔的移动。因此可以说:“给一个电脉冲数字信号,画笔就移动一步”。画笔就是在电脉冲数字信号的节拍下一步一步地行进着的。图 1—2 表示了绘图机作 $\pm X$ 、 $\pm Y$ 方向的直线插补与脉冲节拍的相应关系。因此平面上绘制的直线和曲线取微小线段来看都是由 X、Y 两个独立方向上微小直线段的连续合成运动连接而成的折线。只是由于直线段的步距很小(一般在 $0.1 \sim 0.00625$ 之间),所以画笔的运动在肉眼看起来还是连续地进行的。

如图 1—3 表示用具有八个方向的绘图机的基本动作去逼近一条直线或弧线,其中 $+X$ 、 $+Y$ 、 $-X$ 、 $-Y$ 为四个基本矢量,另外四个矢量为前四个基本矢量的组合(沿每象限的 45° 方向)。一般绘图机只采用 4 个基本方向的动作去逼近直线或弧线。这就是计算机采用的“以折代直”、“以折代曲”的基本原理。

2. 插补原理

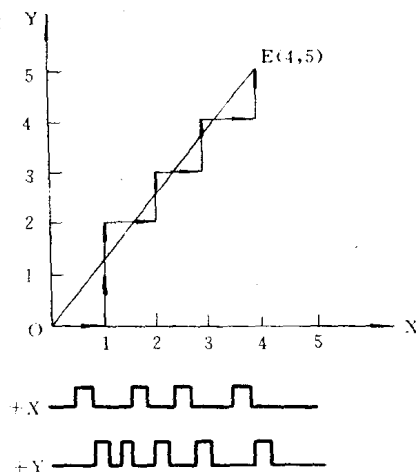


图 1—2 直线插补的脉冲分配

由以上分析可知,要绘图机自动绘图,在于对指令脉冲进行合理分配。这种分配脉冲的工作由插补机(专用计算机)进行插补运算后自动进行。

插补的算法有很多,有正负法、线性内插法、数字积分器法、微分分析法等,这里只介绍逐点比较法和正负法。

(1) 逐点比较法

逐点比较法的原理可概括为八个字:“逐点比较、步步逼近”。如图 1—2 所示,若以坐标原点为起点,画一条直线到达终点 $E(x_e, y_e)$,则需沿 X 方向走 5 步,沿 Y 方向走 3 步,最后到达终点。那么画笔应走哪个方向而不偏离理想直线呢?一旦画笔到达终点又如何通知计算机停止输送信息呢?

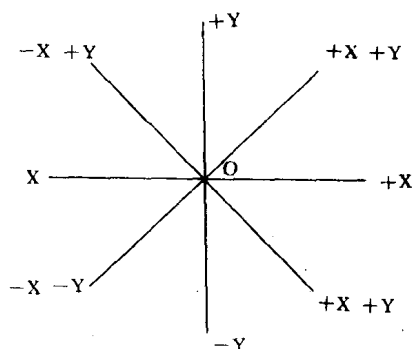


图 1—3 八个基本动作方向

逐点比较法的执行过程分四个节拍,如图 1—4 所示。

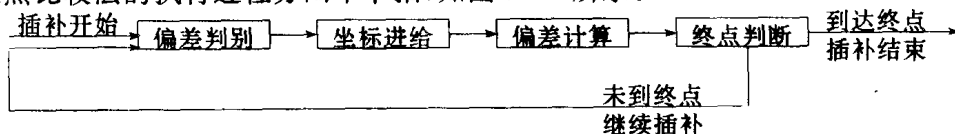


图 1—4 逐点比较法的插补过程

- ①偏差判别: 即判断画笔与理想线段的相对位置,以确定下一步走向;
- ②坐标进给: 根据判断结果,使画笔向 X 或 Y 方向移动一个步距;
- ③偏差计算: 当画笔移到新位置时,计算与理想线段间的偏差,以确定下一步走向;
- ④终点判断: 判断画笔是否到达终点,未到终点,继续插补,若已到终点,则插补结束。

关于偏差计算,下面以第一象限画直线为例说明直线插补过程。如图 1—5,今有理想直线 OE ,在绘制直线 OE 的过程中,画笔可能出现三种位置:

①画笔正好落在理想直线 OE 上,斜率为理想直线的斜率,如点 $G(x, y)$,其斜率 $\text{tg}\alpha = \frac{y_e}{x_e}$

②画笔在理想直线 OE 的左上方,如点 $G_1(x_1, y_1)$,其斜率为直线 OG_1 的斜率 $\text{tg}\alpha_1 = \frac{y_1}{x_1}$,此时 $\text{tg}\alpha_1 > \text{tg}\alpha$

③画笔在理想直线 OE 的右下方,如点 $G_2(x_2, y_2)$,其斜率为直线 OG_2 的斜率 $\text{tg}\alpha_2 = \frac{y_2}{x_2}$,此时 $\text{tg}\alpha_2 < \text{tg}\alpha$ 。

要让计算机进行偏差判别,首先要建立判别式。若点 $G(x, y)$ 在理想直线上,则 $\frac{y}{x} = \frac{y_e}{x_e}$,判别式为 $F = x_e y - y_e x = 0$

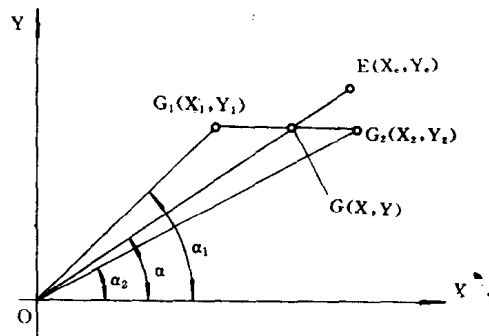


图 1—5 画笔与理想直线的位置

逐点比较法规定,当 $F=0$ 时,画笔在 OE 上,规定画笔沿 +X 方向进给;

当 $F>0$ 时,画笔在 OE 的左上方,规定画笔沿 +X 方向进给,使之逐渐逼近 OE 。

当 $F<0$ 时,画笔在 OE 的右下方,规定画笔沿 +Y 方向进给,使之逐渐逼近 OE 。