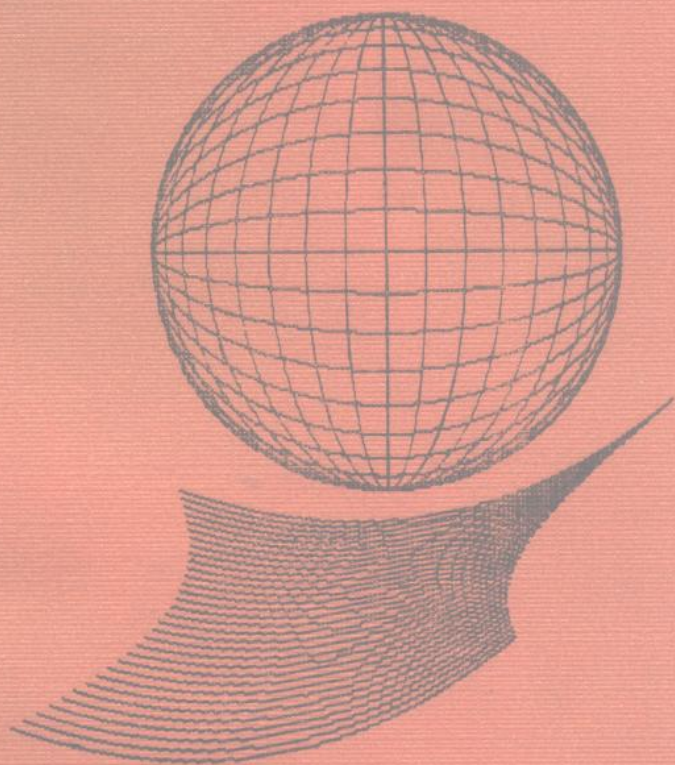


微电脑 图形学入门

王文澄 编著



机械工业出版社

9141

10.1

本书系统地介绍了计算机图形学的基本理论和技术。为使广大初学者易于接受这一新学科，书中侧重于图形学的软件技术，内容简明扼要、通俗易懂，并配以适当用BASIC语言编写的程序实例。

本书可供初学计算机图形学的广大科技工作者、学生和专门从事计算机应用的工作人员学习参考。

责任编辑：刘思源
封面设计：刘代

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南路一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 850×1168¹/₃₂·印张 10³/₈·插页 2·字数 276 千字

1988年11月北京第一版·1988年11月北京第一次印刷

印数 0,001—4,100·定价：4.95元

ISBN 7-111-00560-4/TP·33

前 言

计算机图形学已有三十多年的历史了，由于种种原因，直到最近几年才得到飞速发展。其应用领域极为广泛，而且创造的经济效益和社会效益非常明显，因此，得到了国内外普遍重视。

计算机图形学的理论涉及学科较多，而且理论的学习必须配合实践，要求有供实习的图形系统。鉴于这种情况，学习和应用计算机图形学在我国尚处于起步阶段。近几年来，我国微电脑的普及应用工作发展很快，要求了解计算机图形学的呼声很高。许多计算机图形学的基本理论和技术可以在微电脑上实践，而且进行计算机图形学教育的条件也已成熟，本书即是应这种形势的要求而产生的。

本书力图作到以下几点：（1）系统性。尽量把计算机图形学的各个方面作一全面的概括，使读者通过学习，能够了解计算机图形学的全貌。（2）通俗性。计算机图形学的许多理论和算法，涉及学科较多，理解和掌握比较困难，我们试图用通俗的方法讲述这些理论的基本思想，以扩大读者范围。（3）实用性。计算机图形学实践性很强，对于大多数读者，学习它是为了解决工作中的问题。因此，本书对每个问题的叙述都配有已经通过的程序实例，说明它怎样应用于工作和学习中。读者通过学习，可以很快地把理论应用到实践中去。

计算机图形学最大的应用对象是计算机辅助设计。本书最适合机械、电子、化工、建筑、轻工等工科专业的师生学习使用。从发展看，计算机图形学的应用必将渗透到各个领域。掌握这方面的知识，对于其它专业人员也大有裨益。

本书的编写，得到美国 CST（计算机系统技术）公司总裁、华盛顿大学教授赵鉴芳博士的许多帮助和指导；清华大学计算机工程系的孙家广老师审阅了初稿，提出很多宝贵的意见和建议。

IV

在此，深表谢意。

由于作者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，诚恳希望广大读者批评指正。

编者

1986年6月

目 录

前言

第一章 绪言	1
第一节 什么是计算机图形学	1
第二节 计算机图形学的应用领域	3
第三节 计算机图形学发展简史	9
第四节 微电脑图形学	14
第二章 计算机图形系统的硬件组成	16
第一节 图形显示系统	16
第二节 输入设备	24
第三节 输出设备	30
第四节 图形硬件系统的核心	34
第三章 计算机图形系统的软件	37
第一节 图形软件包	37
第二节 应用程序	38
第三节 应用数据库	40
第四章 基本图形元素的产生	44
第一节 引言	45
第二节 线段的产生	49
第三节 线段的简单应用	58
第四节 曲线的产生	65
第五节 曲线画法的简单应用	79
习题	88
第五章 二维显示变换	89
第一节 平移变换	89
第二节 比例变换	105
第三节 旋转变换	116
第四节 复合变换	125
习题	138

第六章 窗口技术	140
第一节 引言	140
第二节 剪裁	142
第三节 开窗变换	168
第四节 窗口技术的应用	169
习题	184
第七章 动画	186
第一节 引言	186
第二节 动画技术	188
第三节 动画技术的应用	203
习题	212
第八章 三维图形显示	213
第一节 引言	213
第二节 正交投影图	218
第三节 透视图	228
第四节 显示变换	240
习题	258
第九章 三维图形学高级技术简介	260
第一节 曲线构图	260
第二节 消隐算法介绍	276
第三节 光色效应	283
习题	286
第十章 图形应用程序的开发	287
第一节 程序设计中应注意的几个问题	287
第二节 一个图形应用程序的开发过程	306
附录 常用图形命令对照表	323
参考文献	323

第一章 绪 言

计算机图形学界著名的学者伊万·萨瑟兰(Ivan E. Sutherland)说过:显微镜使我们能够观察微观世界,望远镜向我们展现了宏大的宇宙,而计算机显示,使我们看到了一个完全由电子设备模拟的人造数学世界。

四十年来,电子计算机的发展和应用,创造了许许多多令人难以置信的奇迹。在计算机科学的众多分支中,计算机图形学异军突起,正在日益广泛地渗入到各行各业,而且必将发挥越来越大的作用。

第一节 什么是计算机图形学

一、图象是人类表达、传递信息的有效手段

在日常生活中,我们主要靠语言文字交流信息。语言文字的出现,是人类从低级阶段发展到高级阶段的标志。然而,用图象传递信息的方法不仅没有随着语言的出现而消失,并且在科学技术高度发达的今天,显示出语言所无法比拟的优越性。

1. 图象信息易于理解和交流

图象是客观世界的直接反应,而语言是经过人类加工用来表示客观事物的符号集合。世界上各种各样的语言有几千种,各种语言之间不能直接交流,而图象则为全人类所共享。画出一所房子,不管哪国人都明白画的含义。考古学家对史前人类的研究借助图象信息,宇航专家试图与外星生物联系也采用图象信息。

2. 图象信息精炼

我们都有这样的经验,如果要去一个从未去过的地方,请去过的人告诉您怎么走,可能讲了很长时间也讲不清楚,但是若画一张路线图,就能一目了然。俗话说“一图胜千言”,正是这个道理。洋洋数十万言的长篇小说,拍成电影不过一个多小时,而

且给人的印象可能更深刻。

3. 图象表示准确

在人类的生产活动和科学实验中，更是离不开用图象表达。建筑施工图、机械装配图等，可以准确无误地表示出各构成部分的几何尺寸和相对位置。而飞行图表、航海图志可以指明航线。这些都是用语言文字无法表达清楚的。

4. 图象表达直观

一个过程中许多因素之间的关系，利用图象表示时就能够直观地反应过程的变化规律以及什么是起决定作用的因素。因此在许多科研数据分析中，关系图是十分重要的表达工具。

二、计算机图形学的基本概念

图象是人类交流信息的重要媒介，计算机是人类脑力劳动的助手，两者的结合，就产生了一门新的学科。计算机图形学是继印刷、照相技术后，制造图象信息的重大革命。计算机图形学，是利用计算机系统产生、操作、处理图形对象的学科。图形对象可能是照片，也可能是计算机生成的字符、符号、线、明暗曲面所构成的图形。

计算机图形学中重要的一支是交互式计算机图形学。所谓交互式，就是在图形处理过程中，人通过交互式设备（如键盘、鼠标定位器等），随时进行修改和控制。一般说计算机图形学，指的就是交互式的。

计算机图形学可以分成三个研究领域：

1. 图形生成

图形生成包括人工产生图形对象，通常用线框图表示。它的主要任务是：构造模型及产生图象；模型、图象的变换；模型识别与信息检索。这里所说的模型，是对图形对象的抽象描述，它能够被计算机理解并可以转换为图象显示。通俗地说，模型是图象的说明，图象是模型的可见形象。

2. 图象处理

图象处理包括对照片图象扫描采样、量化、模/数转换以及

对数字化的图象信息进行处理。它的主要任务是：图象加工（如使图象更为清晰）；图象赋值（给图象的某部分定义尺寸、形状、位置等）；模型识别（特征的选取与分类）。

3. 图形识别

图形识别涉及图形对象的模型和模型之间的关系，并把图形生成和图象处理结合在一起。

在本书中，我们只讨论计算机图形学中有关图形生成的问题。

三、计算机图形学在高等教育中的地位

计算机图形学是一门新兴学科，它集中了数学、计算机科学、工程学等多学科知识，又为众多学科服务。可以预料，在不远的将来，它将成为我们必须掌握的一种工具。为此，学习计算机图形学已经提到日程上来了。计算机图形学做为是一门大学课程不过是近些年的事，但发展十分迅速。目前，在科学技术发达国家，许多理工科大学相继开设了计算机图形学，不少教师、学者对如何讲好这门课程做出了有益的探索和总结。近年来，一些院校在研究生、本科生中开设了有关课程。相信随着人们对计算机图形学重要意义的认识的提高以及应用的日益深入普及，各院校将会为各专业学生安排不同学时的计算机图形学。对于各行业的管理干部、科技人员，也有学习了解计算机图形学的必要，这是时代的要求。

第二节 计算机图形学的应用领域

一、应用的类型

计算机图形学的应用可以根据许多标准进行分类。概括地说，主要有两类应用对象：一类是那些其日常工作与图纸、图象有关的，如工程设计人员、动画设计师的工作等；另一类是那些需要借助计算机生成的图形、深入洞察复杂的自然现象和理论的问题。后者的范围较广，包括从科学理论的研究到企业的生产经营管理。下面列举已经成功地运用计算机图形学的重要领域。

1. 计算机辅助设计 (CAD)

CAD是计算机图形学最重要、最基本的应用领域。计算机图形学的产生和发展与辅助设计的要求密切相关,直到今天,它的主要目标仍集中在发展CAD技术上。利用图形学技术,可以自动绘制各行业的施工图纸(包括零件图、装配图、立体图等);可以进行设计优化,模拟最终产品在各种条件下的动态变化;可以并行设计,缩短设计周期。彩色插页图1-1是利用CAD技术设计的机械零件立体图。这样复杂的冲压、铸造零件的曲面,人工设计是不可能的。

2. 计算机模拟

计算机模拟包括的范围非常广泛。在大型计算机系统上,预先模拟太空飞行,可以确保宇航的成功。在管理者办公桌上的微电脑图形系统,能够随时显示生产进度、市场状况、人员构成等信息,辅助管理者准确迅速地作出决策。在实验室的图形终端上,立即绘出实验过程的形象模拟,有助于对实验的观察、控制。

3. 计算机制图

计算机图形系统配备的绘图机,可以输出高质量的各种图纸,包括地理区划图、地形图、地质勘探图、航海图、气象图等。比起传统的制图方法,计算机制图的精度高、速度快。

4. 计算机辅助教育

计算机图形系统可以生动地演示物理、化学、生理等教学内容,使学生更深刻地理解所学的知识。可以对学生进行测验、指导、答疑。对飞行员进行训练时,借助计算机图形系统,能够在地面模拟空中飞行。

5. 图象处理

图象处理是图形学中的一部分,与传统的图象处理技术的区别在于计算机图形学可以对经过扫描采样的照片图象进行各种加工。在宇宙探索、医疗保健等行业中,计算机图象处理有重要意义。

6. 过程控制

计算机图形系统的过程控制有别于监视电视，它可以把各类传感器采集到的非图象信号加工处理成图象，这样，人在对某个过程进行控制操作时非常方便。典型的应用包括化工厂、发电站的控制以及航空港对飞机的控制。

7. 办公室自动化

随着信息量的膨胀增加，办公室工作人员每日要处理的文件、报表成倍地增长。计算机图形系统可以取代秘书的繁琐日常工作，能够对大量杂乱无章的文件数据进行分类、汇总，并加工成满足不同要求的、包括文字和图表的报告。此外，还能够进行“电子邮件”通讯。

8. 计算机艺术创作

计算机图形学为计算机化的艺术创作提供了无限美好的远景。通过计算机图形系统设计出的各种艺术图案已广泛应用于印染、编织、工艺品制作行业中。计算机图形系统辅助生产电影、电视片的技术也日臻成熟。创作动画片和电影布景已有现成的产品。例如，美国的 MAGI 公司开发的图形系统能够用计算机产生动画片的各种景物和人物形象，然后把它们印制到电影胶片上，取代了传统制作动画片靠人一帧一帧地去画分解动作图的方法。在大场面电影制作中，计算机图形系统的作用就更明显了，它可以制作各种特技镜头，以及用人工难以实现的场景，以达到省时、省力、省成本和提高质量的效果。利用计算机图形系统还可以修复文物古迹，给黑白影片上色。

9. 家庭应用

随着人类生活水平的提高和计算机系统价格的急剧下降，微机已经阔步进入家庭生活。计算机图形系统可以帮助人们作家庭收支预算，合理安排饮食起居日程，教育辅导孩子学习；还可以提供形形色色的娱乐。各种电子游戏不仅作为一种消遣，并能锻炼人们的思维和共济官能。

二、应用实例

上面概括地列举了计算机图形学的应用范围，由此可以看出

它与我们的密切关系。那么，在一个具体工作中，是怎样实现计算机图形系统的辅助作用的呢？让我们看一看下面的例子。

例1-1 计算机辅助设计割草机

此例是美国托罗公司计算机辅助工程部经理 D. R. 罗恩，在 1985 年北京国际计算机绘图技术及应用学术讨论会上介绍的。

托罗公司生产经销草皮维护与灌溉设备。他们使用 C. V. 公司的设计者系统 V 进行计算机辅助设计。现说明该公司开发新产品割草机的过程。

1) 根据市场调查，做出开发新产品的项目计划，对计划中的一些基本概念进行定义。

2) 项目计划确定之后，进行产品设计。首先通过计算机图形系统按比例画出样机草图。画草图不必考虑零件的厚度和其它附加细节，这些内容以后很容易加上。在绘图过程中，设计员可

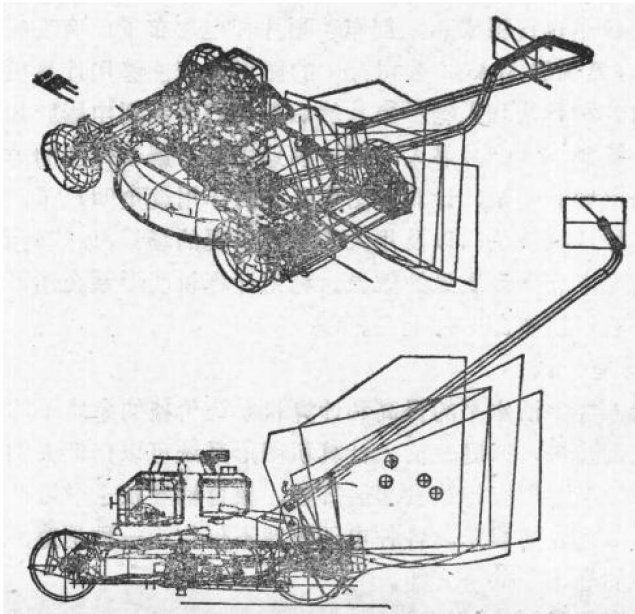


图1-2 割草机草图

以调用数据库中已有的零件，如发动机、传动装置、手柄等，这样能提高设计速度。图1-2是计算机图形系统作出的样机草图。

3) 借助分析软件包，对整体设计进行分析、优化。如重量特性软件包可以用来评定所提出的新草袋的安置对整机重心的影响。由于草图是一个简单的三维线框图，所以便于修改。

4) 进行零件设计，利用图形设计和高级表面设计软件包，建立零件的明暗曲面图。这种图形逼真，可供

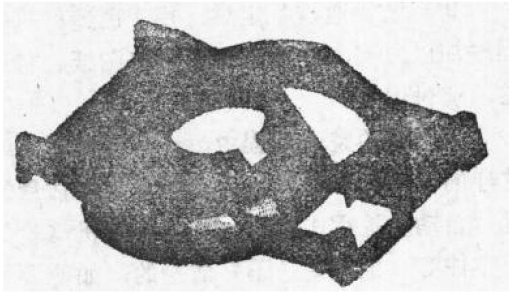


图1-3 割草机的压铸罩

经销、生产人员提意见用。图1-3是割草机压铸罩的明暗曲面图。

5) 应用 CADD5、FEM 和 COSMOS 软件从结构上评定这个零件的设计，进行加载后的有限元分析，确定哪些区域需要修改。图1-4是对压铸罩进行有限元分析的示意图。

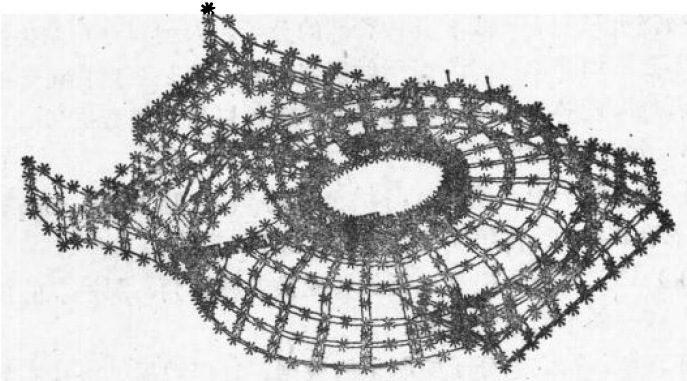


图1-4 对压铸罩进行有限元分析

6) 进行详细设计。经过有限元分析确定后的零件，绘出它们的正式图纸。这些零件的正式图自动取代草图中的相应部分。

全部零件图绘制完成，整个样机的总装图也完成了。

7) 对详细设计作出的零件图形，如果该零件要在数控机床床上自动加工，则必须根据其图形数据进行数控程序的编制。

8) 对样机进行实验测试，以鉴定其是否满足设计要求。

9) 设计通过鉴定后，用于制造样机的草图就被详细的绘图程序加以完善，作为公布的合格图纸。将画出的图制成缩微胶卷，交付生产。

在上述的整个过程中，计算机图形系统充当了重要的角色。这样的设计有许多优点。有些是可以估量的，如改进画图效率，进行自动数控程序编制，不必做样机试验而使用分析方法检验复杂零件等。也有些是不好估量的，如使设计形象化，精度、清晰度、质量的提高等。

例1-2 计算机模拟分子结构

考察分子的基本物理结构，可以了解分子内部的运动规律。例如，硅晶体中电子的状态由晶体的基本对称性决定，两种分子的相对大小及形状能够影响它们之间的相互作用。因此，研究分子结构在化学上有十分重要的意义。然而分子太小了，即使利用电子显微镜也只能看到少数几种特殊的分子。人们对分子结构的了解，主要靠对晶体进行X光衍射研究得到。但是，这样得到的数据人们难以理解，利用计算机图形系统可以将这些数据形象地构造成分子结构示意图。

在这个例子中，使用 Apple 公司的微电脑 Macintosh。图形程序用 BASIC 语言写成。程序分以下几部分：

1) 输入对分子模型进行旋转变换的旋转角、观察点的位置坐标、分子模型的放大倍数。

2) 输入构成该分子的原子的数据。这组数据可以从有关的教科书查到。每个数据由四部分组成，即原子的 x 、 y 、 z 坐标和半径。

3) 对分子模型进行旋转变换，这样可以向观察者显示分子模型的各个侧面。

4) 对原子按深度 (z 坐标值) 进行排序, 为作立体图时, 把不可见部分删除作准备。

5) 对分子模型进行透视变换和比例变换。

6) 作出分子模型图。

第三节 计算机图形学发展简史

既然计算机图形学有如此广泛的重要作用, 那么, 能够了解一下它是如何发展到今天这个水平的, 无疑对学习它很有好处。

多数学者都同意这样的说法, 第一个计算机图形系统是伴随着第一台数字计算机出现的。然而由于以下几个主要原因, 阻碍了计算机图形学的快速发展。①硬件成本太高, 计算机图形系统要求高速的运算处理能力和庞大的内存容量。②图象生成软件有难以想象的复杂性。③支持图形操作的系统软件和应用软件都很复杂。④显示设备等外围设备达不到要求。

尽管困难重重, 迫于生产活动的要求和压力, 计算机图形学还是稳步地发展起来了。

1963年, 美国的一些大学和工业研究所联合起来, 成立了“信息显示会”。70年代, 随着小型机的出现, 计算机图形学发展步伐加快了, 1974年美国计算机联合会中成立了图形专业组 (SIG GRAPH)。1979年成立了美国全国计算机图形联合会。1980年相继成立了欧洲和世界计算机图形联合会。1983年以来, 计算机图形系统的市场销售年增长率为32%。下面分三部分简要介绍计算机图形学的发展过程。

一、硬件的发展

简单粗陋的图形设备是伴随着电子计算机出现的。1950年, 美国麻省理工学院研制的“旋风”计算机配有阴极射线管显示器 (CRT)。50年代中期, 在研究雷达数据处理时运用了光笔。1963年, 在全美计算机春季年会上, 萨瑟兰发表了打样机 (Sketchpad) 系统, 这标志着交互式计算机图形系统的诞生。此系统由 TX-2 计算机、CRT、光笔、绘图仪、控制按钮组成。

70年代之前,组成计算机图形系统的主机是大型机,输出设备是随机扫描 CRT 及点阵式打印机,输入设备多为打字机式键盘、光笔、图形输入板。

70年代中,随着电子工业的飞速发展,计算机图形硬件发展很快。小型机、微电脑逐步取代了大型机;光栅扫描 CRT、行式打印机、绘图机等输出设备投入使用。

80年代是计算机图形系统大发展阶段。由于超大规模集成电路技术的成熟,数据处理和存储系统功能大大增强。32位的 CPU, 256 k~1M位的存储器芯片,以及专用的图形处理芯片都已用于计算机图形系统中。分辨率为1400×1200或更高的彩色光栅扫描 CRT 普遍应用在显示系统中,平板显示器也开始在显示系统中崭露头角。输出设备包括彩色激光和彩色静电绘图机、激光打印机和磁性打印机。输入设备包括数字化图形板、鼠标定位器、摸感屏幕、扫描器等。

二、软件的发展

计算机图形学的软件主要包括数据结构、算法和程序语言三大部分。其中数据结构和程序语言与计算机科学的其它分支共同的地方很多,我们重点介绍算法的发展。

1. 数据结构

简单地讲,把数据结构的发展可分为三个阶段。早期(60年代之前)计算机处理的数据是自然的,没有组织,没有结构。中期(60~70年代),数据组织成文件结构,提高了数据处理的速度。近期(70年代后),数据组织成数据库,数据有最小冗余度,能多用户共享,为数据处理网络化提供了基础。

2. 程序设计语言

语言是实现算法的工具,工具的得心应手可以提高软件的运行效率。50年代中后期,麻省理工学院研制出一种 APT 语言,它是数控编程语言的鼻祖,对后来开发的数控编程语言影响很大。早期的计算机图形程序语言都依赖于所使用的计算机,因此通用性很差。后来开发的程序语言多嵌入高级语言(如FORTR-

AN、BASIC) 中, 便于使用和推广。

3. 算法

研究高效的图形算法, 一直是计算机图形学学者最感兴趣的课题之一。二十年来, 发表了许许多多这方面的报告和论文, 以下对有名的算法研究做一摘要介绍。

1946年, E. A. 马克斯韦尔发明了齐次坐标系技术, 后来被引入计算机图形学, 为图形变换奠定了基础。

本世纪60年代, J. E. 布莱森汉姆 (Bresenham) 提出了形成直线的整数算法; S. A. 孔斯 (Coons) 发表了构造曲面的插值算法。

70年代, 形成直线的算法进一步发展, 而构造曲面的算法则有著名的贝齐埃 (Bézier) 插值和B样条函数插值法。为了增强计算机图形的真实感, 删除不可见线、面的算法相继发表, 萨瑟兰等人对这些算法进行了总结。

80年代, 巴斯基 (Barsky) 提出了 β 样条函数插值法构造曲面; 瑞奎克 (Requicha) 分析总结了立体造型算法; 弗利 (Foley) 和戴姆 (Van. Dam) 进一步研究删除不可见线、面的算法; 克劳 (Crow) 对明暗曲面问题进行总结分类, 提出了新的算法。

三、图形标准的发展

随着计算机图形学的发展, 图形标准化的作用日益重要。从1963年第一代交互式计算机图形系统的发表到1974年, 是计算机图形学的独立地、自由地发展时期, 对每个图形系统都要专门开发新的图形软件。这种状态大大阻碍了计算机图形学的发展, 图形标准化的要求迫在眉睫。标准化的根本问题是要求软件的主体不依赖它所运行的计算机, 这样才能使图形软件的生产工程化、商业化。

1979年, 美国计算机联合会图形专业组公布了“核心标准”(SIG GRAPH CORE), 虽然这一标准是非官方的, 但是影响很大, 许多计算机图形系统生产者都向这一标准靠拢。