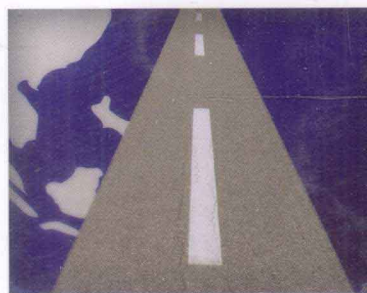




高等院校动漫设计系列教材

数字艺术技术 基础教程

□ 龙晓苑 编著



清华大学出版社



北京交通大学出版社

高等院校动漫设计系列教材

数字艺术技术基础教程

龙晓苑 编著

清华大学出版社
北京交通大学出版社
· 北京 ·

内 容 简 介

本书以数字视听艺术的技术脉络为主线,将数字艺术分为数字暗室技术、自然媒介仿真技术、数字设计技术、数字造型技术、数字渲染技术、三维动画制作技术及数字音频与电子音乐技术等内容,并给予充分的技术细节的介绍,有助于读者更好地理解具体的数字艺术软件工具的功能,并由此激发更多的技术灵感创作出更好的作品。

本书图文并茂,每章配有思考题。

本书既可作为各高等院校数字艺术系列课程的通选教材,亦可作为各培训班数字艺术软件应用培训的强化教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

数字艺术技术基础教程/龙晓苑编著. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2011.2

(高等院校动漫设计系列教材)

ISBN 978-7-5121-0481-5

I. ①数… II. ①龙… III. ①数字技术-应用-艺术-设计-高等学校-教材

IV. ①J06

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第010062号

责任编辑:谭文芳

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969 <http://www.tup.com.cn>

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414 <http://press.bjtu.edu.cn>

印刷者:北京瑞达方舟印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:12.75 字数:326千字 彩插4

版 次:2011年2月第1版 2011年2月第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-0481-5/J·36

印 数:1~4000册 定价:23.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

以计算机技术为主导的数字技术使我们的学习方式、工作方式乃至娱乐方式都发生了巨大的变化，而其中以计算机多媒体技术为主线的数字艺术教育也在计算机教育中占据越来越大的比重。综其原因，除了数字艺术的历史与计算机技术的发展息息相关、密不可分外，更重要的事实是，数字艺术的技术内容本身蕴涵了众多的计算机新科技内容。

编者通过多年的数字艺术教学实践认为：数字艺术的教学不应该局限于传授某些具体软件的使用，技术的发展提供了软件完善的无限可能性，而且软件的变化也是五花八门、层出不穷的。数字艺术的教学应该遵循某种技术脉络，挖掘各类软件的通用及特定技术内涵，以代表性软件为例子来加以剖析，以此达到学生对各类软件的灵活掌握和运用的目的。本书从这个角度出发，介绍了图形图像及音频技术在视听艺术领域中的应用脉络。

希望使用本书的读者在理解技术内容的基础上，对其在数字艺术软件工具中的应用做到举一反三，进而做出创造性的作品。这也是本书目的所在。

编 者
2011 年于北京

目 录

第1章 绪论	1
1.1 数字艺术诞生的技术背景	1
1.2 数字艺术发展的历史阶段	3
1.3 数字艺术的分类	9
思考题	9
第2章 色彩	10
2.1 色彩概述	10
2.1.1 色彩的由来	10
2.1.2 色彩三要素	11
2.1.3 色彩体系与色立体	11
2.1.4 色彩空间	13
2.2 标准基色与色度图	14
2.2.1 三基色与标准基色	14
2.2.2 CIE 色度图	16
2.3 色彩模型	17
2.3.1 RGB 色彩模型	17
2.3.2 CMYK 色彩模型	17
2.3.3 HSV 色彩模型	18
2.4 电子色彩模式	19
思考题	21
第3章 数字暗室技术	22
3.1 概述	22
3.1.1 传统暗室技法	22
3.1.2 数字暗室基础	23
3.2 数字修像技术	26
3.2.1 两种常用的图像色调调整工具	26
3.2.2 使用内插和外插的图像色调调整方法	36
3.2.3 局部修饰技术	38
3.3 数字滤镜技术	39
3.3.1 空域滤波方法	39
3.3.2 数字滤镜应用	47

3.4 数字合成技术·····	56
3.4.1 蒙版技术·····	56
3.4.2 图层混合·····	60
思考题·····	62
第4章 数字设计技术 ·····	63
4.1 数字设计概述·····	63
4.2 图元设计·····	63
4.2.1 复杂图元的设计·····	63
4.2.2 图元形状的组织·····	67
4.2.3 变形图元的编辑·····	69
4.3 图元混合·····	70
4.3.1 混合(渐变)与插值·····	70
4.3.2 线性插值·····	71
4.4 图元纹理与填充·····	72
4.4.1 纯色填充·····	73
4.4.2 透明层填充·····	73
4.4.3 图案填充·····	74
4.4.4 渐变填充·····	74
4.5 图元变换·····	74
4.5.1 基本图元变换的数学意义·····	74
4.5.2 组合图元变换的数学意义·····	77
4.5.3 图元变换的应用·····	79
4.6 字体设计·····	80
4.6.1 点阵字体·····	80
4.6.2 矢量字体·····	82
4.6.3 字体设计应用·····	82
思考题·····	83
第5章 自然媒介仿真技术 ·····	84
5.1 自然媒介仿真方法学·····	84
5.2 插图技术·····	84
5.2.1 铅笔画·····	85
5.2.2 钢笔画·····	89
5.3 绘画技术·····	90
5.3.1 水墨画·····	90
5.3.2 水彩画·····	93
5.4 自动和半自动绘画技术·····	96
5.4.1 点画法·····	97

5.4.2	马赛克方法	97
5.4.3	半调法与掩膜技术	98
5.4.4	笔划法	101
5.4.5	画线方法	103
5.4.6	一个综合实例的介绍——肖像素描的生成	107
思考题		110
第6章 数字造型技术		111
6.1.1	三维空间模型	111
6.1.2	基本建模技术	112
6.1.3	高级建模技术	116
6.2	模型的修改	120
6.3	模型拼接	122
6.4	自然景物的建模	124
6.4.1	分形分维几何	124
6.4.2	植物的分形建模	126
6.4.3	山的分形建模	128
6.4.4	云的分形建模	130
思考题		131
第7章 数字渲染技术		132
7.1	数字光照	132
7.1.1	局部光照明模型	132
7.1.2	全局光照明模型	134
7.2	数字阴影	138
7.2.1	不使用光线追踪的方法	138
7.2.2	光线追踪方法	140
7.3	纹理映射	140
7.3.1	纹理映射	141
7.3.2	环境映射	142
7.3.3	凹凸贴图	142
7.3.4	置换映射	143
7.3.5	纹理贴图及其应用	143
思考题		150
第8章 三维动画技术		151
8.1	计算机动画概述	151
8.2	基本运动表达技术	151
8.2.1	刚体的运动	152
8.2.2	关节体的运动	155

8.3 高级运动表达技术	159
8.3.1 柔体的运动	159
8.3.2 随机体的运动	162
思考题	164
第9章 数字音频与 MIDI 音乐技术	165
9.1 数字音频与 MIDI 音乐	165
9.1.1 声音及其属性	165
9.1.2 声音的数字化	167
9.1.3 MIDI 音乐	170
9.2 数字音频编辑	174
9.2.1 基本的编辑	174
9.2.2 效果润饰	175
9.3 MIDI 音乐制作	176
9.3.1 MIDI 制作	176
9.3.2 MIDI 效果处理	177
9.3.3 MIDI 音频一体化	177
思考题	178
第10章 数字艺术软件介绍	179
10.1 数字暗室软件	179
10.2 数字设计与页面布局软件	180
10.2.1 Illustrator	180
10.2.2 CorelDRAW	181
10.2.3 PageMaker	181
10.2.4 InDesign	181
10.2.5 Freehand	182
10.3 数字绘画软件	183
10.4 二维动画软件	183
10.5 三维建模与动画软件	184
10.5.1 3DS MAX 与 MAXScript 语言	184
10.5.2 Maya 与 MEL 语言	185
10.6 第三方渲染软件	186
10.6.1 Lightscape	186
10.6.2 RenderMan	187
10.6.3 Mental Ray	187
10.6.4 Brazil	188
10.6.5 V-Ray	188
10.7 数字音频编辑软件	188

10.7.1	Cool Edit	188
10.7.2	Adobe Audition 与 Adobe Soundbooth	189
10.7.3	Sound Forge	190
10.7.4	Audacity	190
10.8	数字音乐软件.....	190
10.8.1	Steinberg Cubase 与 Nuendo	190
10.8.2	cakewalk sonar	192
参考文献.....		193

从历史发展上讲,从来也没有一种技术像计算机技术这样对人类历史产生如此深远的影响。人类正在步入数字时代,以计算机技术为主导的综合电子信息技术将从各个不同的侧面影响人类工作和生活中的每一方面,这其中也必然包括对科学研究和艺术创造的影响。

本章将从历史发展的角度来谈谈计算机技术对数字艺术进程的影响。

位(bit)是数字化世界中的最小单元,也是计算机世界中的最小单位。数字艺术作为数字化时代的一种艺术表现形式,指的是运用计算机技术为主的电子信息技术手段,以数字化的形式去完成各类艺术表现(绘画、摄影、雕塑、音乐、舞蹈等)以获得与传统艺术相媲美的艺术魅力和艺术效果的一种新生代艺术形式。因而,数字艺术的历史与计算机技术的发展历史息息相关,密不可分。可以毫不夸张地说,离开了计算机技术的发展和广泛应用,就没有今天数字艺术的诞生。

1.1 数字艺术诞生的技术背景

确切地讲,数字艺术的萌芽应从20世纪60年代中叶算起。60年代以前的技术虽未直接涉及数字艺术本身,但其中所蕴涵的技术思想却对数字艺术产生了深远影响。

1. 印刷出版术的发明

计算机图像的概念是如何与正文区别开来的?印刷技术对这一概念的起源起了重要的作用。古代的人们使用手写字母及手绘图画来生成文稿,对于手稿中的图像及正文说来,其中手眼的协调及书法技艺是至关重要的。笔与书写材料之间的配合决定了整个书写或手绘的过程。

现代印刷技术在第一次工业革命的基础上诞生了。18世纪中叶,印刷工厂如雨后春笋般纷纷出现。印刷技术给人们带来这样一种技术思路:从本质上讲正文与图像是相同的。正文是一类由有限符号集组成的抽象编码,只要能够识别这些有限的符号集,正文所表达的意义就是完整的。但在当时对于图像并未找到与之相对应的符号集。

2. 自动织布机的出现

当时计算一词对艺术家来说还太遥远,因为它隐含了数学计算之类的概念。但这只是源

于技术历史的偶然，并非本质如此。实际上，计算的概念可用在多种场合，比如织物的设计。自动织布机的出现，改变了人们对计算的误解。

1806 年，法国的 Josph Marie Jacquard 发明了世界上第一台 Jacquard 织布机，这种织布机可以根据所编码的指令织出花样图案。虽然这台织布机只不过是一台机械设备，并不是一台真正意义上的计算设备，但其中所包含的两大技术思想对后来的计算机技术及数字化视觉艺术产生了重大影响，这两大技术思想是：（1）将图像转换成离散的色彩值的阵列（扫描仪的相片数字化原理就是籍此而来）；（2）使用穿孔卡来传输指令（将图像存储成一系列的指令形式的原理即籍此而来）。

3. 留声机的发明

1876 年爱迪生当众演示留声机获得成功。简言之，这种装置通过把一组由薄膜受声波振动而产生的传给一根摆动的针，然后由这根针在一个蜡质圆柱上刻下相应的纹道。最后通过转动该圆柱，就能清晰地发出刚刚“录”制的声音。这个实验说明声音不是稍纵即逝的，而可以用某种方法记录下来并供事后播放。留声机的发明为日后的音频技术奠定了基础。

4. 分析机的实践及制表机的实现

计算能处理符号，计算也能用作艺术设计的工具。由自动织布技术得到启发，1823 年，英国剑桥大学的一位名叫 Charles Babbage 的科学家开始着手研制一种名叫差分机（Difference engine）的设备，这种复杂的机械设备，可用来进行快速而精确的对数及三角函数等数学运算，当时这类功能用于军事上的弹道轨道计算是很有用的。

1833 年，由于遇到许多经济上的及技术上的困难，Babbage 中止了对这种设备的开发。他开始转向一种更灵活的、功能更广泛的，用于一般目的的流控制式计算机的研制，Babbage 为之取名为分析机（analytic engine）。这种机器的设计方案中包括了现代计算机系统的四大主要组成：输入部分、处理部分、存储部分及输出部分，指令也能像自动织布机那样用穿孔卡片来输入。Ada Lovelace 参与了整个计划，她在自己的著作中对 Babbage 的整个工作作了详细的说明。（注：Ada 是诗人拜伦的女儿，擅长数学。她被公认为第一位程序员，她为分析机写了第一个编码程序以计算 Bernoulli 数。美国国家防御部为纪念她的成就以她的名字 Ada 命名了 Ada 程序设计语言。）Babbage 最终还是未能获得足够资金完成自己的工作。如果当时这种分析机的想法得以成功实现，那么第一台可程式计算机的诞生史恐怕就得重写了。

虽然如此，但复杂的计算设备的研制最终还是获得了极大的成功。在前人的基础上，1886 年，美国人 Herman Hollerith 主持研制成功了制表机（tabulating-machine）。1890 年，美国人口普查统计就是在这台制表机的帮助下，用几个月的时间计算出来了过去人工需十年才能统计出来的数据。Hollerith 公司因此迅速发展，后来它与其他公司合并更名为 CTR（Computing-Tabulating-Recording，计算 - 制表 - 记录）公司。1924 年，为纪念它在商用领域所取得的成功，该公司又进一步更名为国际商用机器联盟，即 IBM 公司。

5. 第一台电子数字计算机的诞生

尽管自制表机之后也出现了一些类似的计算设备产品，但真正突破性的进展发生在第二次世界大战之后。由于战争，使人们认识到自动计算设备在导弹轨迹计算、破译敌方密码、

新型武器研制等诸多方面的应用优势，以美国国家防御部为主的一些政府机构及研究机构极力主张研制并开发计算机系统。在国家弹道研究实验室的资金资助下，1946年，第一台大规模、通用型电子式数字计算机系统 ENIAC 在宾夕法尼亚大学的 John W. Mauchly 及 J. Presper Eckert 博士的主持下研制成功。该设备使用了 18 000 个真空管，最初许多专家还怀疑该系统的可靠性，原因是真空管的性能不是很可靠。但 ENIAC 最终还是获得了成功并有效运行近十年。它除了执行弹道计算之外，还在氢弹设计中发挥了重要作用。

由此可见，计算机最初是为军事及协同工作所设计的。这种思想在一定程度上阻碍了它往艺术设计领域发展，毕竟艺术在人们眼里是很个性化的设计。后来随着计算机越来越成为人们日常生活中的一种工具，这种最初的想法才逐渐淡漠下去。

下面就来谈谈数字化艺术发展的三个历史时期。

1.2 数字艺术发展的历史阶段

1. 数字化艺术发展的第一个时期——20 世纪 60 年代末至 70 年代初

20 世纪 60 年代初期，出现了商用化的由计算机驱动的笔式绘图仪，借助这种设备，计算机可绘制一些简单的线框图，虽然在当时这已算是计算机绘图功能突破性的进展，但若想让艺术家使用这种笔来“创作”，实在是太简陋了。使用这种笔式绘图仪来绘图，不仅是只能描绘直线，不能表现曲线，更糟糕的是绘图员工作起来就像“盲人”一样，无法实时看到自己所绘制的作品。随着 60 年代中期及末期计算机监视器及显示屏的商用化，这种情况才得以改观。

那个时期的计算机绘图作品大多表现的都是一些极其简单的线框图，且几乎都是黑白的。但当时的一些科学家及某些艺术家们对计算机的这点“艺术”能力感到兴奋和激励，尽管计算机的这一能力还存在很大的局限。为了激发更多的人对计算机绘图的兴趣及关注，1965 年 Bell 实验室的程序员兼工程师，同时也是未来艺术家的 Michchael Noll 做了一次非正式但很著名的实验：他使用计算机生成了一幅 Mondrian 线图，与真实的 Mondrian 线图同时展出，并让参观者判别哪一幅是手工绘制的，哪一幅是计算机生成的。结果大多数的人都判断错了，并且更偏爱计算机生成的那幅 Mondrian 图（见图 1-1）。

这个实验吸引了当时许多科学家、艺术家、心理学家及哲学家的注意，对于那些希望使用计算机作为工具来研究视觉、美学的科学及艺术工作者来说更是如此。

当时像 Mondrian 线图之类的计算机绘图作品并不能简单地归入标准的美术范畴或应用艺术范畴。在 20 世纪 60 年代大多数的时间内，按当时大多数“数字”艺术家、评论家、观察家的观点，计算机仍然是太缺乏感情，技术性太强，无法用于真正的艺术创作。那个时代研究并创作计算机艺术作品的人大多具有科学和工程背景，虽缺乏艺术方面的正

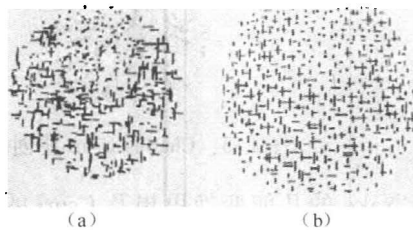


图 1-1 (a) 计算机生成的 Mondrian 图
(b) Piet Mondrian 图

规训练,但他们中的许多人却显露出强烈的艺术抱负和相当程度的艺术美感及素质。这一时期的代表人物有 Chareles Csuri, Ken Knowlton, Leon Harmon, Frieder Nake, Lillian Schwartz, Manfred Mohr, Ruth Leavitt, John Whitney, Herbert Franke 等。

Bell 实验室的 Ken Knowlton 和 Leon Harman 致力于计算机视觉及科学可视化领域的研究,他们合作开发出一种新型的计算机语言,使用这种语言可以方便地处理图形数据,他们还研究计算机艺术表现形式及模式识别等问题。他俩合作的数字化作品常常在各类艺术展览会上展出,这同时也激发了其他一些科学家及艺术家对这一领域技术研究的兴趣。Lillian Schwartz 就是其中的一位。他原是一名传统意义上的艺术家,主要从事日本画及丙烯颜料画创作,1969 年他加入到 Knowlton 主持的工作小组中一起工作,主要从事计算机静态图像制作、动画及雕刻制作。

Frieder Nake 原是一名数学家,他参与了前西德最早的一部计算机艺术电影的实验制作。在一部主题为 *Cybetnetic Serendipity* 的影片中用计算机来表现一系列矩阵的变化(见图1-2)。通过这一实验,他发现这一产生过程在某种程度上类似于艺术形式中可视主题的表现。计算机程序通过产生随机数来直观表现一系列矩阵的几何变化,至少能说明可以通过程序来控制作品的创作。

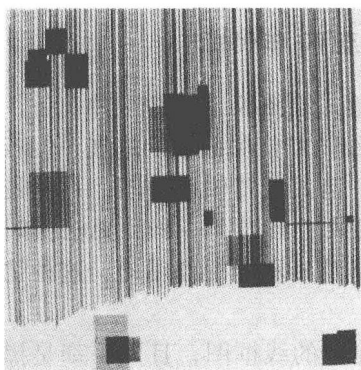


图 1-2 使用计算机程序来表现的矩阵的几何变化

这期间还有一名早期数字视觉艺术家的工作值得一提。Manfred Mohr 是一位有着传统艺术背景的数字艺术家,1969 年以后,他的工作主要是研究二维、三维、四维的立方体的黑白(偶尔也有灰度图)线框表现。他在几何图的计算机生成方面做了不少工作,并探索出一套在系统变化基础上的几何图形变化的语义。出于他的艺术背景,他的工作很少受到计算机领域新技术发展的影响。

尽管绝大多数的早期数字化视觉艺术作品多半是一些抽象的表现,但也有一些作品是使用类似于 Knowlton 与 Harman 所倡导的可视思想来创作图像。1967 年,Charles Csuri 制作了一部基于计算机动画的影片——《从混沌到有序》,目的是进一步探索计算机的潜在艺术创作能力(见图 1-3)。该实验通过预先绘制一系列的点,然后用线将它们组成具体的图像,最后通过增量变化来产生动画。



图 1-3 Charles Csuri 所创作的“从混沌到有序”动画序列中的一组静态帧

Nake 的几何变换思想及 Csuri 的可视变化思想是计算机电影的基础。电影实际上是一些静态图像的序列化,而计算机只不过是自动生成图像序列来模拟动画影片产生的过程而已。1974 年加拿大电影制片人 Peter Folds 创作的计算机动画片《饥饿者》(*Hun-*

ger)就是在上述思想基础上制作的一部短片(见图1-4)。该影片因获得1974年的“学术成就奖”而闻名,同时该影片还获得了戛纳电影节的“Prixde Jury”奖及柏林电影节的相关奖项。

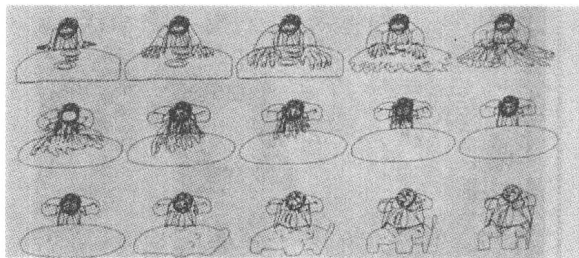


图1-4 影片“Hunger”中的一段动画序列

这期间,计算机的另一艺术能力——计算机雕刻艺术开始呈现。早期的数字艺术作品多是二维的,但也有一些艺术家开始考虑并把注意力放在3D物体的计算机表现上。

Georg Nees使用计算机驱动的机械工具创作的计算机雕刻作品就是代表之一(见图1-5),通过编制控制产生3D物体的指令完成作品的雕刻。

这一期间计算机技术本身,尤其是计算机图形技术也取得长足的发展。正像前面提到的那样,早在20世纪50年代初,就开发了计算机图形技术,其目的是使人眼看不见的东西变为可见的。早期的这类图形应用系统多与军事、制造业或应用科学有关。比如美国空军的SAGE防空系统,操作员可通过光笔指向屏幕上的飞行图标,通过屏幕看到美国大陆上空飞行的飞行器;再比如计算机辅助设计与制造系统允许电子工程师设计和测试具有数百万个器件的电子线路等。1960年由波音公司的计算机图形组(Computer Graphics Group, CGG)正式定义了计算机图形学这一术语。波音CGG小组的领头人William Fetter博士有着扎实的图形设计背景,他坚持认为计算机图形学有着无限的应用潜力。在20世纪60年代初,William Fetter与人合作为波音公司制作了产生飞机支架着地的短篇动画,还将人像模型化,用于与飞机座舱设计相关的人体工程学研究。图1-6所显示的这幅图像,就是将计算机图形学用于飞机座舱设计的实例之一。

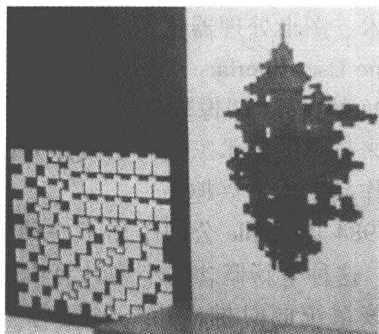


图1-5 Georg Nees的计算机雕刻作品(1969)

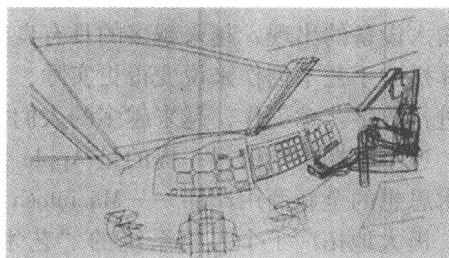


图1-6 早期的图形学用于飞机座舱设计

但按今天的标准来看,这些早期的图形学技术还是很有限的,后来交互式图形学的发展使这一情形发生了根本的变化。第一个名为Sketchpad的交互式系统,1963年由Ivan Sutherland——MIT的一名博士生研制成功。这是第一个交互式几何图形系统(见图1-7),由此

拉开了交互式图形学的序幕。

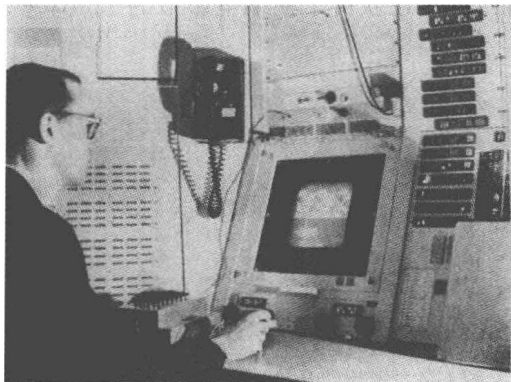


图 1-7 Ivan Sutherland 在 MIT 演示 Sketchpad

交互图形学的目标就是顺应计算机家庭化的潮流，使人们不必经过专门的数字或其他科学训练也能使用计算机来方便地创建复杂的可视图像。不久，交互式图形学的研究正像 Sutherland 等研究人员所预料的那样，迅速发展成为计算机研究领域的一大热点，从此开拓了一种崭新的人—机交互形式。

20 世纪 70 年代初，Xerox PARC 研究中心提出的光栅图形及桌面出版技术思想对计算机图形学的贡献也功不可没。这期间，相关的计算机硬件技术，特别是微型机技术的发展更是大大地推进了计算机图形学技术的应用与流行。

2. 数字化艺术的第二个发展时期——20 世纪 70 年代末至整个 80 年代

20 世纪 70 年代末是数字化艺术发展相对稳定的时期。由于个人机及交互式图形软件的不不断推向市场，不少的专业艺术家开始对计算机产生了兴趣。这个时期的艺术家逐渐也分为两个阵营：一个是乐于接受信息技术，尝试使用程序设计方法来创作艺术作品的数字艺术家阵营；另一个仍是对数字化技术表示怀疑的传统艺术家阵营。

20 世纪 80 年代是数字化艺术发展的里程碑。80 年代计算机软硬件技术飞速发展，在硬件上表现为超级微机、并行计算机、通用微处理器技术、图形处理器技术的开发及相关硬件产品的出现；在软件技术上表现为伴随着 GUI（Graphic User Interface，图形用户接口）及鼠标输入设备的出现，越来越多的具有良好人机用户界面的图形/图像软件的不断更新，使得计算机对于艺术创作来说变得更实际、更有用了。越来越多的艺术家们开始接纳并使用计算机进行数字艺术创作，越来越多的人对数字化艺术作品产生了兴趣。

这个时期特别值得一提的是 Apple 公司的贡献。1984 年 Apple 公司推出了一种采用 GUI 技术思想的全新商用产品——Macintosh（或 Mac 机），这种全新概念的小型计算机系统的出现，极大地拓宽了个人机系统的“艺术”潜力，与该系统同时推向市场的还有一种名为 Mac Paint 的绘图程序，这是一种简易的黑白图像绘制工具。虽然当时的艺术界及工业界已有不少功能强大、全彩色绘画工具可以使用（如 AutoCAD），但却是 Mac Paint 为广大的计算机用户提供了家庭个人绘画创作的可能。人们不需具备程序设计经验或工程设计知识就能打开机器，拖动鼠标，绘制图像。

这个时期很多专业艺术家开始与计算机图形/图像专家合作，创作出许多的数字视觉艺

术作品。比如 JPL（喷气发动机实验室）的访问学者 David Em（艺术家）使用图像映射软件完成的想象中的行星静物画，以及 Digital Effect 公司，MAGI 公司，Robert Adel Associates 等公司使用内部开发软件及定制的图形硬件制作的一些广告型商业作品就是这样一些例子。

这一时期的数字化视觉艺术作品主要集中在三维图像及动画应用领域。同时，伴随着新一代桌面出版系统、彩色绘画软件，扫描仪硬、软件技术的出现，数字化艺术的应用范畴得到了进一步的拓广，数字摄影艺术、电脑雕塑制作等数字化艺术形式纷纷出现。Nancy Burson, Carol Flax, Joan Truckenbrod, Marnie Gillnett, Jim Pomeroy, David Hockey 及 Nam June Paik 等一大批数字摄影及数字雕塑艺术家开始出现，为数字化视觉艺术历史揭开了新的篇章。

这一时期计算机的另一艺术潜力——数字音乐思想也开始萌芽。20 世纪 80 年代初，MIDI（Music Instrument Digital Interface，乐器数字接口）标准的确定及相关音频技术的发展是数字音乐发展的里程碑。我们知道，人们一开始使用一些小玩艺来制造声音效果，比如使用椰子壳来模拟马的奔跑声，这是早期声音合成器的雏形。但是这种早期的声音合成器多半性能都不稳定，用它们所产生的音调、音质等受外界因素（比如温度、湿度）的影响较大。50 年代之后，随着计算机技术的发展，合成声音可以在小型电路板上产生，具有较高的可靠性。较大的发展是随电子乐器的产生而出现的。电子乐器产生初期，电子声音合成器以其产生的不同于以往的声音使音乐界为之一振，接下来电子音乐就开始风靡全球。随着电子乐器的流行，各生产厂家也纷纷推出不同的优势产品以占领市场，这样一来，在推出新产品的同时各厂商也制定了自己的规格，相互之间互不兼容。这极大地阻碍了电子音乐的进一步发展。1981 年 Sequential Circuit 公司的 Dave Smith 先生在一次音频工程学会上提出了通用合成器接口的设想，目标是解决各厂家产品不兼容问题。他的这一设想得到了许多电子乐器厂商的普遍关注。接下来美国和日本的几家主要电子乐器生产厂商也暂时将自己的商业利益搁在一旁，协商讨论，共同提出了 MIDI 明细规格，于 1983 年形成了 MIDI 1.0 Digital Specification，这就是电子音乐领域常说的 MIDI 协议。

MIDI 协议的制定，以及这一时期音频软件的出现，特别是 20 世纪 90 年代之后相关数字音频技术的飞速发展，以及 MIDI 技术与计算机技术的密切配合，使数字音乐迈上了一个新台阶。

3. 数字化艺术的第三个历史时期——20 世纪 90 年代至今

20 世纪 90 年代的数字化艺术是专业化和风格化相结合的艺术。特别是进入 90 年代以来计算机软、硬件技术发展的突飞猛进，情况发生了巨大的变化。个人计算机性能/价格比的剧烈提升，吸引了大量的艺术家和艺术设计人员。90 年代的 PC 机可以用来做大量的艺术工作，比如摄影素材制作、视频素材、音乐素材、多媒体、三维图形制作等，由于与 PC 机相关的一系列数字化艺术作品创作所需的软、硬设备个人购买力都能支付得起，因而所有这类艺术创作既可以是与专业人士有关的，也是业余爱好者可以涉足的。

到了 20 世纪 90 年代中期，WWW 全球网络开始出现，艺术家以敏锐的感受力感受到与时代同步的文化和技术，出现了数字艺术的实践，最初，他们的作品以非主流的形式大量在技术或电子媒体为主的会议、节日庆典、研讨会等上出现。但是在 90 年代末期，数字艺术的地位基本确定，世界范围的博物馆、画廊也开始收集和组织主要的数字艺术作品展。这个

时期有一种正在发展中的、并将会对数字化艺术进程产生深远影响的综合信息技术——VR 技术，一直是科学家及艺术家们关注的热点。

进入 21 世纪以来，数字艺术涉及的议题就更为广泛：人工生命、人工智能与智能代理、远程监控（Telepresence）、远程信息服务（Telematics）、远程机器人（无线机器人）、数据库、数据可视化、语音超媒体环境、游戏、策略媒体、（网络）能动性等技术或技术概念为艺术的创造与实践提供了全新体验的可能。

人工生命和智能在科学与科幻之间建立一种桥梁，用科学的方法探索人和机器之间的关系。Licklider 等人提出的人-机共生的思想：促进计算机的系统（形式、公式）化思维，使人和计算机能够协同工作做出决策及控制复杂情况。而 Wiener 提出的 Cybernetics 社会中信息和反馈的概念作为生命的组成原理与模因学中的概念有关（注：Dawkin 提出的文化传递单位模因（Meme），以模仿生物传递单位基因（Gene）为出发点。Dawkins 认为，模因是文化模仿单位，其表现为曲调旋律、想法思潮、时髦用语、时尚服饰、搭屋建房、器具制造等的模式。他将模因看作是大脑里的信息单位，是存在于大脑中的一个复制因子。）上述两人提出的理论是人工生命的艺术探索的理论基础。由此诞生的人工生命作品或装置在美学与进化之间建立明确链接，允许参与者通过给出美学策略来影响图像或生命体的模拟进化。

语音超媒体环境可以使艺术家的作品中融入语音识别及处理功能，但人机通信与日常生活中的自然语言依然差距太大，它们只能执行或响应少数人的命令，然而“智能”机器行为通过“智能代理”已经成为我们生活中的一部分。“智能代理”抑或以个人助理的形式出现使人更聪明，抑或以入侵者的方式出现破坏我们的隐私或想象力。网络化的数字技术已经创建了人机交互的一种新的形式，使人们可以在不同的场合有一个共享的存在，在远程的位置之间建立直接的联系或者在远程的环境之间交互，即 Telepresence、Telematics。大量的 Telematic 与 Telerobotics 项目主要是探索远程人机通信与交流，使用户能够观察、介入、与远程位置通信，将自己融入远程环境；另外，也允许个人在 Internet 上广播自己的观点。它们所做的是在自然环境和虚拟环境之间建立一种联系，这类技术的出现都可以影响到艺术创造本身及其体验。

而数据库、数据可视化、映射技术的结合可以以静态的方式将数据表达出来，比如数据图表化；也可以以动态方式表述出来，比如物理流场、建筑蓝图、设计规划、艺术作品等等。可视化的基本结构是数据与数据库，而映射则是对这些数据文化的理解。

游戏、策略媒体、（网络）能动性等则是体现了在与信息空间的交互与参与过程中多样化的互动与交流。

总之，数字艺术已经渗透了技术的方方面面，同时也检测着技术的应用，未来的数字艺术反映的同样将是由信息技术为主体的，连同生物技术、神经元科学，纳米技术及其他一些学科发展而带来的文化变化。

数字艺术本身构成某种文化价值，并不需要实现某种目的，但它一定具有某种角色：为美学、情感、文化打开了一扇大门。或许它的这种角色在将来更重要，数字艺术使我们面临的新问题是：如何定义我们自己以及如何定义我们周围的世界，或许这是一个无限的挑战。