

分形的计算机图象 及其应用

胡瑞安 胡纪阳 徐树公 著



中国铁道出版社

CAD 丛书

分形的计算机图象及其应用

胡瑞安 胡纪阳 徐树公 著

(中国科学院计算技术研究所 CAD 开放研究实验室)

国家自然科学基金与 863 高技术计划资助项目

中 国 铁 道 出 版 社

1995年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书结合应用并着重从计算机图形的角度介绍分形几何及分形图象的计算机生成方法。全书共九章。内容包括:分形曲线、分形曲面、M 集与 Julia 集分形图象、植物的分形结构、L 系统、迭代函数系统(IFS)、DLA 分形生长模拟、混沌吸引子及混沌图象的生成、生物分形混沌与人工生命等章节。书中附有大量计算机生成的黑白、彩色分形图片,详细地讲述其计算机生成算法,用 C 语言算法描述。

本书可供科研人员、大专院校师生及广大对分形感兴趣的读者阅读,还可作为《计算机图形学》和《计算机辅助几何设计》中“非规则形体的造型与绘制”部分的教学参考书。

CAD 丛书

分形的计算机图象及其应用

胡瑞安 胡纪阳 徐树公 著

*

中国铁道出版社出版发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 殷小燕 封面设计 陈东山

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:9.125 插页:2 字数:225 千

1995 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1—2200 册(平)

1—300 册(精)

(平)ISBN7-113-01867-X/TP·194 定价:14.00 元

(精)ISBN7-113-01872-6/TP·196 定价:18.10 元

前 言

计算机辅助设计(CAD)作为一种实用性极强、发展十分迅猛的科学技术,已成为传统产业改造、工程设计变革、劳动生产率提高和产品市场竞争力增强的有力手段,对一国经济发展具有重要的意义。

中国科学院计算技术研究所 CAD 开放实验室,于 1987 年 9 月经中国科学院批准成立,多年来它聚集了国内外 41 个单位的 240 余名优秀人才,在国家“七五”攻关计划、“863”高技术计划和国家自然科学基金项目等的经费支持下,开展了 CAD、计算机图形学、专家系统、工程数据库等的基础性研究和系统研究开发的大量工作、取得了一系列重大研究成果,并已成功地应用于电子、机械、建筑、地理、控制、工程管理及艺术等领域,为我国 CAD 科技的发展作出了重要的贡献。为对其中一些具有显著特色的研究成果及时进行总结、提炼和交流。CAD 开放实验室决定组织撰写这套 CAD 丛书,第一批包括:《专用集成电路行为功能级模拟技术》、《机械设计专家系统研究与实践》、《计算机在建筑设计造型中的应用》、《分形的计算机图象及其应用》、《计算机地理真实感图形》、《VHDL 语言及其应用》和《工程数据库》等共七部专著先行出版,其余专著也将根据研究进展,陆续撰写出版。

丛书从不同侧面比较系统地反映了 CAD 与计算机图形学国内外的最新动向和成就,将对这一领域技术在中国的传播、提高与推广产生积极的影响,也为我国广大设计工作者,大专院校教师和学生提供一种有价值的参考书。我相信广大读者必将能从这套丛书中得到助益。

中国计算机学会理事长

中国科学院院士 张效祥

一九九三年七月

CAD 丛书编委会

主编：魏道政

编委：石教英

许隆文

刘明业

刘慎权

周堤基

林宗楷

唐荣锡

唐璞山

序 言

1987年9月,中国科学院批准成立了中国科学院计算技术研究所CAD开放研究实验室,承担了国家“七·五”攻关、“863”高技术计划和国家自然科学基金项目,聚集了国内外41个单位的240余名优秀人才,在CAT、CAD、图形学、专家系统、工程数据库等的基础研究和高水平CAD系统研制方面,均取得了重大研究成果。这些成果在电子、机械、建筑、地理、控制、工程管理和艺术等领域得到成功的应用。

为了对这些研究成果进行总结、提炼与升华,我们室决定组织并撰写一套CAD丛书,并将陆续出版。

这套丛书的第一批包括7本著作,它由20余名中青年学者,历时3年撰写而成的:

《专用集成电路行为功能级模拟技术》介绍了行为功能级模拟器及硬件描述语言DDL,以RISC SPARC为例讨论了ASIC的DDL描述及模拟器的使用方法,研讨了全机性行为功能级模拟的策略与测试码的选择问题。

《机械设计专家系统研究与实践》阐述了机械设计专家系统的基本概念、基本理论、专家系统开发环境与工具,以作者所研制的多个机械设计专家系统为实例较为完整地介绍了如何建立一个设计型的专家系统,如何评价这些系统等问题,并对新一代机械设计专家系统进行了展望。

《计算机在建筑设计造型中的应用》以作者研制“中国古典园林三维模拟系统”和“中国皇家园林三维模拟系统”、“计算机辅助建筑造型系统”等为实例,从理论与实践的结合上介绍了在计算机屏幕上逼真地显示园林景观的真实感图象,通过改变视点和视线方向,可动态地模拟游人在园林环境中所得到的身临其境的艺术感受。

《分形的计算机图象及其应用》将分形作为研究和处理自然界和工程中不规则图形的有力的理论工具。这本书介绍了分形几何的有关理论、方法与计算机图象生成算法,不仅可充分显示混沌、分形之美,而且也展示出分形应用的若干重要领域。

《计算机地理真实感图形》从地理科学应用及其图形表现方法的特点出发,根据地图生产过程的本质,将地图信息、地图数据的提取、逻辑结构、存取管理、图形描述等用具有真实感的三维立体图来表示。这项技术可用于编制

各种专题地图、军事导航、国土管理开发决策、水利交通规划等领域。

《VHDL 语言及其应用》介绍了硬件描述语言 VHDL,它正成为世界范围计算机辅助设计的交流媒介。VHDL 现在是 IEEE1076 标准,并得到工业界的广泛支持。这本书介绍了 VHDL 的基础、数据类型、行为描述、结构描述、VHDL 的高级特点、VHDL 的建模技术和如何使用 VHDL 进行硬件设计。

《工程数据库》阐述了工程数据库的特点、它在集成化技术中的应用、数据模型、数据库语言、版本管理、工程数据库管理系统及数据库技术发展趋势等等。

应该说目前这几本书仅仅反映我们室一小部分的工作,但它们从不同侧面反映了 CAD 与计算机图形学领域国内外的先进技术与最新动向。可以欣慰地说,在取得一批优秀成果基础上撰写的这套丛书的出版雄辩地表明在所论及的领域,我国学者已经成功地缩小了与国际先进水平的差距。

我们十分高兴的是中国计算机学会理事长、中国科学院院士张效祥教授亲自为这套丛书写了十分精辟的前言。我们希望这套丛书能对有关的研究与开发人员和广大的设计人员有所益处。

这套丛书所论及的研究工作得到了国家“七·五”、“八·五”科技攻关项目、国家自然科学基金、国家“863”高科技项目的支持。而这套丛书的出版则得到了铁道科技出版基金的资助。“八·五”铁道技术进步规划要点提出要以电子技术应用与机电一体化作为铁路工业产品的第二次更新换代的关键技术,并特别强调在工业产品、工程设计和房屋建筑等方面广泛采用 CAD 技术。这套丛书在中国铁道出版社出版表明了铁道部门的主管领导和专家委员会的远见卓识。

CAD 技术是一门飞速发展的技术,这套丛书不可能涉及到它的所有领域,甚至也不可能涉及到某一领域的所有方面。人们对 CAD 技术的研究、认识将不断深化。因此,我们希望能有更多的专家、学者和有关人士能关心、支持和参与这套丛书工作,并给我们提出宝贵意见。

中国科学院计算技术研究所 CAD 开放

研究实验室主任 林宗楷

一九九三年五月

作者序言

本书是一本系统阐述分形几何及其应用的专著,着重从计算机图形图象的角度来介绍分形理论、方法,以及用计算机生成分形图象的算法。在分形几何的产生与发展中,计算机模拟是探讨与研究分形的非常有效的工具,在分形的应用中更离不开计算机。通过理论联系实际学习与掌握分形,可使读者较快地进入分形的科学殿堂和发展前沿,在各自的专业领域中应用分形并取得进展。

在国家自然科学基金、863 高技术计划智能机主题项目和中国科学院计算技术研究所 CAD 开放研究实验室项目的支持下,本书的几位著者开展了分形几何及分形图象的计算机模拟等方面的研究。在实验室的 SGI 图形工作站上,对分形图象及其计算机生成算法作了系统的研究,本书就是在上述研究工作的基础上撰写而成的。

全书共九章,系统、全面地对分形几何作了介绍,内容包括分形曲线、曲面, M 集和 Julia 集等典型分形集合及图形生成算法、植物的分形结构及 L 系统构图方法、迭代函数系统 (IFS) 及应用、随机生长图形的分形结构、混沌吸引子及其可视性图象生成方法、最后介绍生物分形以及 90 年代初兴起的计算机“人工生命”的研究和有关算法(如,基因算法、细胞自动机等)。

为了帮助读者更好地研究与掌握计算机分形图象的生成,本书提供了用 C 语言描述的各类分形图的生成算法,供读者编程参考。

分形的创立在科学上是划时代的,分形的产生与发展离不开计算机特别是计算机图形学,同样,读者在学习与运用分形中也应当不离开计算机才能取得事半功倍的效果。有鉴于此,本书著者还专门研制了分形图象的 CAI 示教软件,供选用。读者可使用这套分形软件在个人计算机上生成各类分形图象,不仅能使读者亲自

观赏混沌分形之美,也能激发人们特别是广大青年读者对现代科学的浓厚兴趣。

本书由华中理工大学胡瑞安教授,以及参加分形课题研究的胡纪阳工程师(硕士)、徐树公博士共同撰写,具体分工如下:第一章(胡瑞安)、第二、三章(胡瑞安、胡纪阳)、第四、七章(胡纪阳)、第五章(胡纪阳、胡瑞安)、第六章(徐树公、胡纪阳),第八章(胡瑞安、徐树公、胡纪阳)、第九章(胡纪阳、胡瑞安)、附录(徐树公)。全书由胡瑞安负责统稿。硕士研究生胡海英参加了本书 CAI 软件的设计与调试以及第九章的部分工作。

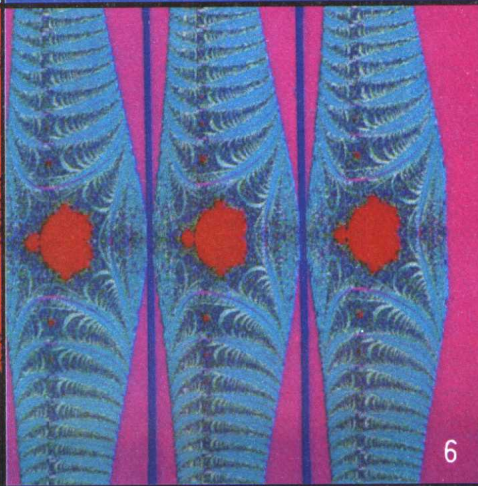
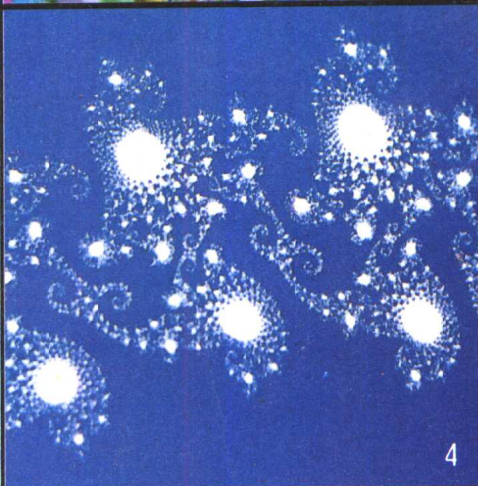
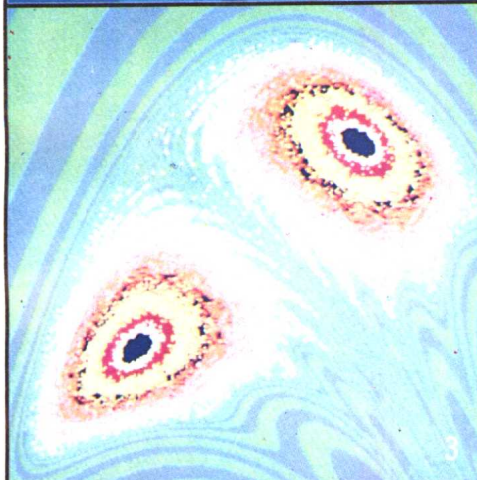
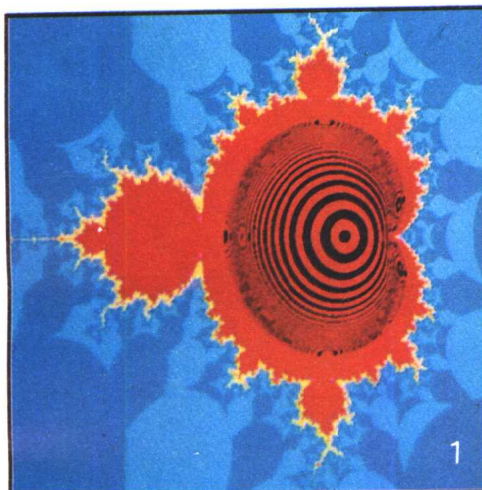
1992—1993 年,本书的主要内容曾在华中理工大学研究生课程中讲授,在试用的基础上不断修改与充实,使之适合教学需要。本书可作为计算机图形学和 CAGD 中“非规则形体的造型”的教学参考用书。

中国科学院计算所 CAD 开放研究实验室林宗楷教授给予了许多有益的帮助,本书的许多研究工作都是在 SGI 图形工作站上完成的,研究中也得到实验室许多同事们的帮助,在此表示衷心的感谢。

胡瑞安

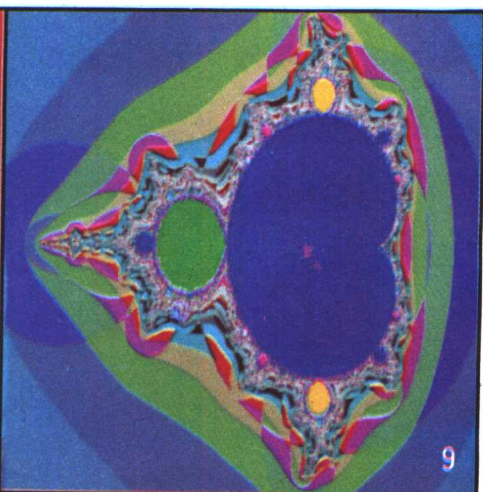
于华中理工大学

一九九四年元月

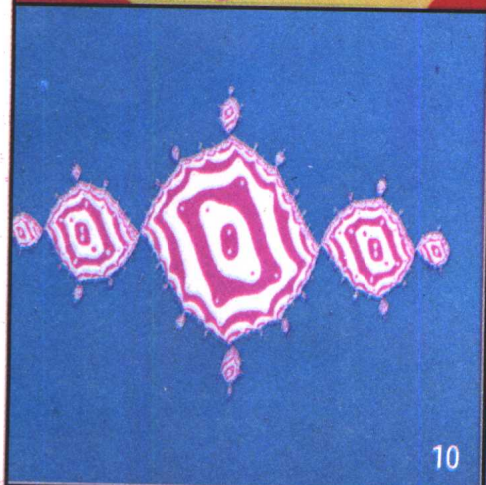




8



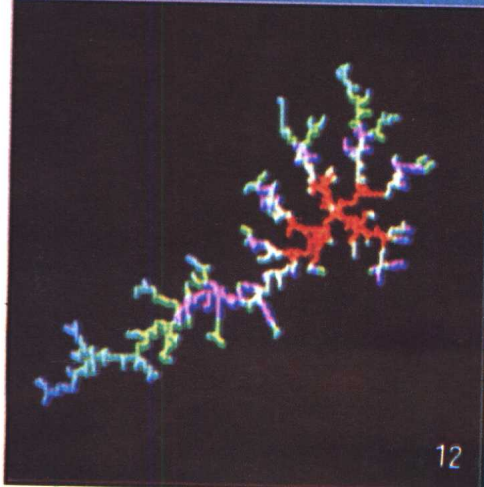
9



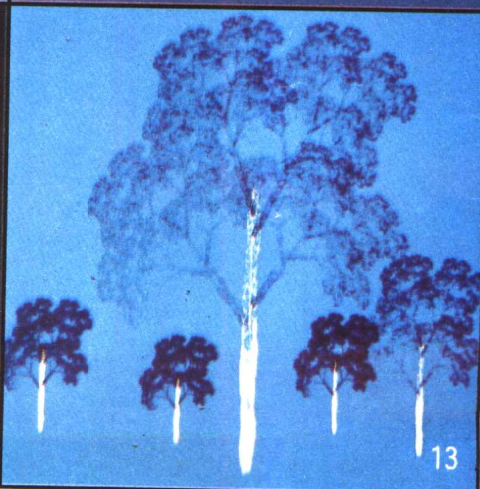
10



11



12



13

目 录

第一章 分形几何——描述自然界非规则对象的几何学	1
1.1 什么是分形	1
1.2 分形的计算机图象	4
1.3 自相似性和维数	8
1.4 分形的相关领域	14
1.4.1 计算机图形学	14
1.4.2 科学可视化	15
1.4.3 实验数学	16
1.5 分形的应用领域	17
1.6 新的几何学的奠基者曼德布罗特	19
参考文献	22
第二章 典型的分形曲线与分形集	23
2.1 Von Koch 曲线	23
2.2 Peano-Hilbert 曲线	28
2.3 Cantor 集	34
2.3.1 三等分 Cantor 集	34
2.3.2 广义 Cantor 集	35
2.4 Sierpinski 三角形、地毯与海绵体	35
2.4.1 Sierpinski 三角形	35
2.4.2 Sierpinski 地毯	38
2.4.3 Sierpinski 海绵体	40
2.5 随机 Koch 分形曲线	44
2.6 中点细分内插分形曲线	45
2.7 非整数阶微积分	48

2.8	分形插值曲线	49
2.9	分形曲线的应用——地图边界曲线的绘制	52
2.9.1	方法概述	52
2.9.2	曲化方法	52
2.9.3	形状处理的有关问题	53
	参考文献	55
第三章	分形曲面	57
3.1	中点位移法	57
3.2	二维随机网格分形曲面的生成	61
3.3	分形曲面上实体纹理的生成	63
3.3.1	大理石纹理的生成	63
3.3.2	木纹纹理的生成	65
3.4	岩石与铸件表面	66
3.4.1	岩石表面形状	66
3.4.2	铸件表面微细形状	67
3.5	云团形状的生成	67
3.6	分形布朗曲面(FBM 曲面)	70
3.6.1	布朗运动与随机中点位移法	72
3.6.2	分形布朗运动与标度不变性	79
3.6.3	FBM 的指数 H 和维数 D	82
3.6.4	分形布朗曲线	83
3.6.5	分形布朗曲面	83
	参考文献	85
第四章	复动力系统的分形集合	87
4.1	什么是复动力系统	87
4.2	M 集及其分形图象	89
4.3	Julia 集及其分形图象	94
4.4	M 集与 Julia 集周期吸引轨道及其分形图象	99
4.4.1	复动力系统的吸引子与周期轨道	99

4.4.2	Julia 集的性质分析	101
4.4.3	M 集与 Julia 集轨道周期的可视性图象	102
4.5	用三角迭代法生成周期复现的分形图象	109
	参考文献	112
第五章	植物树木的分形结构及其计算机生成	113
5.1	Cayley 树的生成	114
5.2	植物树木的 Lindenmeyer 模型	116
5.2.1	L 系统的构图原理	117
5.2.2	L 系统的链语言描述	118
5.3	用链语言构图的实例	120
5.4	i 阶 L 系统(DiL)	124
5.5	几类植物形态的 D0L 系统	127
5.5.1	单分枝灌木的 D0L 系统描述	127
5.5.2	对称双分枝灌木的 D0L 系统描述	128
5.6	D2L 系统的生成规则	130
5.7	L 系统的应用	133
	参考文献	137
第六章	迭代函数系统 IFS	138
6.1	什么是迭代函数系统	139
6.1.1	分形图形的自相似与 IFS	139
6.1.2	混沌游戏	143
6.1.3	IFS 描述的图形	145
6.2	仿射变换与 IFS 码	145
6.2.1	仿射变换	145
6.2.2	压缩映射	147
6.2.3	IFS 码与吸引集	147
6.3	IFS 迭代算法	149
6.4	如何用 IFS 方法构造自然景物	153
6.4.1	IFS 代码设计与景物构形	154

6.4.2	拼贴定理	159
6.4.3	带紧缩集的拼贴定理	160
6.5	IFS 的色彩与纹理	161
6.5.1	基于测度的色彩分配	161
6.5.2	基于仿射变换选取的色彩分配	163
6.5.3	影响纹理的因素	164
6.6	IFS 中的概率	165
6.7	植物树木的 IFS 构图实例	167
6.8	IFS 用于图象数据压缩	170
	参考文献	173
第七章	随机生长图形的分形结构	174
7.1	随机生长的 DLA 模型	175
7.2	DLA 分形生长的计算机模拟	179
7.3	其他凝聚生长模型	184
7.3.1	KCA 模型	184
7.3.2	似晶体生长模型	185
7.4	粘性指凸与裂殖现象及其应用	186
7.5	凝聚生长的建模机理	190
7.5.1	线性凝聚生长的建模分析	190
7.5.2	DLA 的应用	192
7.6	雪花图形的计算机生成	193
	参考文献	195
第八章	混沌及其计算机图象	196
8.1	混沌现象	197
8.1.1	混沌及其研究发展	197
8.1.2	混沌的特征	200
8.1.3	混沌研究中的可视化	201
8.2	状态空间、周期轨道与吸引子	202
8.2.1	状态空间	202

8.2.2	吸引子及其分类	204
8.2.3	混沌吸引子	206
8.2.4	分形流域边界	207
8.2.5	初值敏感依赖性的可视化与牛顿迭代	208
8.3	洛伦兹吸引子及其计算机图象	210
8.4	非线性映射	214
8.4.1	一维映射——逻辑斯谛映射	214
8.4.2	二维离散映射——Henon 映射	218
8.5	李亚普诺夫指数及其图象	221
8.5.1	李亚普诺夫指数	222
8.5.2	变形逻辑斯谛映射	225
8.5.3	变形逻辑斯谛映射的混沌区域的可视化	226
8.6	对称混沌及其可视性图象的生成	230
8.6.1	对称映射与对称混沌	230
8.6.2	产生对称混沌的映射	231
8.6.3	对称混沌的计算机生成算法	235
8.7	非线性振动的混沌分形图象	239
8.7.1	M—Euler 算法	239
8.7.2	非线性振动与可视性分形图象	241
8.8	高斯和(Gauss Sums)的混沌与分形图象	243
	参考文献	247
第九章	生物分形与人工生命	248
9.1	生物分形现象	248
9.1.1	生物体的分形结构	249
9.1.2	生理学中的分形与混沌	250
9.1.3	生物分形的其它表现	251
9.2	人工生命(A-Life)	252
9.3	细胞自动机(Cellular Automata)	258
9.4	基因算法(Genetic Algorithm)	261

9.4.1 基因码	262
9.4.2 基因算法及其特征	263
9.4.3 基因算法的应用	267
参考文献	268
附录一 几种 C 语言编译器下源程序之间的转换	271
附录二 彩色插页内容说明及参考章节索引.....	274