

微机三维实体 造型原理与实践

杨行健 等编译



西北工业大学出版社

微机三维实体造型 原理与实践

杨行健 等编译

西北工业大学出版社

1993年2月 西安

(陕)新登字 009 号

【内容简介】 本书较全面、系统地叙述了三维实体造型方法的背景、原理及其存在的问题。书中附有大量的以 C 代码或类似 C 的伪代码编写的样板程序,构成了实体造型系统的总体框架,读者可以以这些程序为主干线在微机上开发自己的实体造型系统。书中还附录了大量的国际重要文献摘要和索引,供读者参考。

本书可作为高等学校计算机辅助设计与制造专业高年级学生、研究生、博士生的教材或教学参考书,也可以作为有关专业教师的教学参考书以及科研与应用技术人员的业务参考书。

微机三维实体造型原理与实践

杨行 等编译

责任编辑 刘 红

责任校对 洪 峰

*

西北工业大学出版社出版发行

(西安市友谊西路 127 号 邮编 710072)

陕西省新华书店经销

西北工业大学出版社印刷厂印装

ISBN 7-5612-0442-6/TP · 57

*

开本 850×1168 毫米 1/32 12.75 印张 306 千字

1993 年 2 月第 1 版 1993 年 2 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:12.50 元

前 言

在计算机图形学及辅助设计方面已有许多很好的导论性的书籍供读者选择,但较系统地叙述三维实体造型的书籍还不多见,而读者寻找这方面有用的文献时也可能还会遇到一些困难。

本书的目的就是向读者较系统地介绍目前国际上广泛使用的计算机三维实体设计的方法,即实体造型方法,以及这种方法的背景、存在的问题等。本书采用当前工业和学术界所使用的算法描述方法进行说明,给出了大量的以 C 代码或类似 C 的伪代码编写的样板程序。除此之外,在每一章的结尾给出了包括编程作业在内的有关问题及该章内容所涉及的国际重要文献的提要。

本书的书名之所以称之为“微机三维实体造型原理与实践”,是因为目前微机技术的飞速发展,无论在存贮空间、显示分辨率及运算速度等方面已逐渐接近图形工作站的水平,为在微机上开展实体造型的工作提供了可用的舞台。

我们已按这本书的思路,用 C 语言在微机上开发了一个三维实体造型的原型系统,证明在微机上开展三维实体造型的工作是完全可行的。

计算机技术的广泛使用通常是由制造产业的“第二次工业革命”作为驱动力而发展的。实体造型技术在这个进程中起到了一个核心的作用,它为现代计算机工业环境的各种设计和制造系统中加工的零部件提供了完整、准确的几何信息。

除了设计和制造领域外,实体造型在许多其它的领域也发挥了作用。这包括计算机动画的各种领域、计算机艺术、医学计算,甚至到采矿(以矿石体造型的形式)行业。但是至今好象只有少部分实

体造型系统投入实用。

当实体造型技术还远远没有完善时,对它的可行性及限制没有足够的了解就会影响它的应用。本书可供从事设计、运行和使用以实体造型技术为基础的计算机系统的专家们参考。对于在实际开发实体造型系统的人来说,也能从正确了解实体造型的内部结构方面获得收益,就像不编写操作系统的人了解操作系统的知识是有益的一样。

这本书由两部分组成,第一部分为基础部分,介绍实体造型的背景、存在问题及主要的方法,同时也给出了图形模型的主要处理方法。第二部分为几何工作平台(Work Bench)部分,较详细地说明了基于边界模型表示的一个简单的实体造型系统的结构。即详细说明了边界模型的数学概念,引入了数据结构和造型算法,包括像布尔集合运算这样的一些先进的运算。对这个模型所采用的交互式用户接口及改进收敛、提高效率等有关问题也进行了简要的讨论。

本书不倾向于覆盖计算机图形学或计算机辅助设计方面的实体造型的全部领域,而是较清晰和详细地提出一种构造和使用实体造型的方法,使得读者能够构造他们自己的造型系统。我们相信“在干中学习”这一真理,鼓励读者按这本书的思路去工作,不断地探索,开发出满足自己需要的造型系统。

本书的第一、五、六、七章由杨行健编译,第二、三章由汤幼宁编译,第四章由黎长荣编译,第八、九、十、十七、十八章及附录由武君胜编译,第十一、十二章由杨爱国编译,第十三、十四章由朱明编译,第十五章由张学宏编译,第十六章由鲁民清编译。全书由杨行健汇编。杨行健、田捷审定了全稿。

本书可作为高等学校计算机辅助设计与制造专业高年级学生、研究生的教材和教学参考书,也可供从事计算机辅助设计和制造工作的科研人员、工程技术人员及其他有关人员参考。

由于我们的水平有限,书中难免会有错误和不当之处,欢迎读者批评指正。

编 译 者

1992 年 11 月于航空航天工业部 631 所

目 录

第一部分 基础

第一章 导论	1
1.1 模型化的目的	1
1.2 计算机模型	2
1.3 实体造型所遇到的问题	3
1.4 实体造型系统	7
问题	8
文献提要	9
第二章 图形模型	10
2.1 基本造型体素	10
2.2 分组技术	15
2.3 扩充	19
问题	24
文献提要	24
第三章 几何完整模型	25
3.1 图形模型的问题	25
3.2 造型的三级视图	26
3.3 实体的数学模型	27
3.4 点集模型	28
3.5 基于表面的造型	30

3.6 表示方式	42
3.7 体素引用法(Primitive Instancing)	45
3.8 实体造型的分类	48
问题	49
文献提要	49
第四章 分解模型	50
4.1 完全枚举法(Exhaustive Enumeration)	50
4.2 空间划分法	53
4.3 单元分解法(Cell Decompositions)	63
问题	65
文献提要	65
第五章 结构模型	66
5.1 半空间模型	66
5.2 结构实体几何法(Constructive Solid Geometry)	70
问题	85
文献提要	86
第六章 边界模型	88
6.1 基本概念	88
6.2 边界数据结构	90
6.3 边界模型的有效性	97
6.4 边界模型的描述	98
6.5 边界模型的算法	102
6.6 边界模型的性质	106
问题	107

文献提要.....	108
第七章 混合造型系统.....	109
7.1 为什么需要多种表示	109
7.2 混合造型系统的问题	110
7.3 混合造型系统的结构	112
7.4 分布式造型系统	113
7.5 其它的混合式方法	115
问题.....	115
文献提要.....	116

第二部分 几何工作平台

第八章 几何工作平台(GWB)	117
8.1 GWB的设计目标	117
8.2 GWB的结构	119
问题.....	121
第九章 欧拉算子(EULER Operators)	122
9.1 平面模型的操作	122
9.2 边界模型操作	129
9.3 欧拉算子的一个例子	134
9.4 欧拉算子的性质	136
问题.....	142
文献提要.....	142

第十章 半边数据结构	143
10.1 需求.....	143
10.2 数据结构概述.....	144
10.3 实现细节.....	148
10.4 数据结构的存取.....	152
10.5 注释.....	154
问题.....	156
文献提要.....	156
第十一章 欧拉算子的实现	157
11.1 概述.....	157
11.2 存贮分配器(Storage Allocator)	157
11.3 低级欧拉算子.....	164
11.4 高级欧拉算子.....	171
11.5 C 调用序列	174
问题.....	182
第十二章 基本造型算法	184
12.1 目的.....	184
12.2 圆弧生成器.....	184
12.3 扫掠体素.....	187
12.4 粘接.....	193
12.5 旋转扫掠的评述.....	198
问题.....	200
文献提要.....	202

第十三章 几何算法	203
13.1 小面方程.....	203
13.2 包含及求交算法.....	206
13.3 积分特性.....	215
问题.....	219
第十四章 一种分裂算法	222
14.1 问题的提出.....	222
14.2 概述.....	223
14.3 算法概述.....	227
14.4 简化步骤.....	228
14.5 顶点邻域分类程序.....	230
14.6 插入例程.....	237
14.7 空边的连接.....	240
14.8 小面的分类.....	246
14.9 切割(Slicing)算法.....	249
问题.....	250
文献提要.....	251
第十五章 布尔操作	252
15.1 引言.....	252
15.2 问题的陈述.....	253
15.3 边界分类.....	255
15.4 算法.....	258
15.5 简化步骤.....	261
15.6 顶点邻域分类程序.....	266
15.7 空边的连接.....	283

15.8	结果的产生	286
15.9	最后的评议	288
	问题	289
	文献提要	290
第十六章	回退(Undo)功能	292
16.1	目的	292
16.2	概述	293
16.3	回退日志的数据结构	295
16.4	可回退的欧拉算子	397
16.5	其它可回退的操作	300
16.6	事务管理	303
16.7	回退的应用	307
	问题	318
	文献提要	318
第十七章	用户界面	320
17.1	造型系统层次的回顾	320
17.2	批处理界面	321
17.3	交互式界面	326
17.4	实现	331
17.5	注释	340
	问题	341
第十八章	推广	342
18.1	几何范围的推广	342
18.2	高效的几何搜索	349
	问题	359

文献提要	359
附录 A 齐次坐标	361
A.1 定义	361
A.2 坐标变换	361
A.3 坐标变换的组合	363
A.4 观察运算	364
A.5 向量和矩阵软件包	367
附录 B 点集拓扑原理	372
B.1 连续性变换	372
B.2 其它拓扑概念	373
B.3 拓扑空间	374
参考文献	375

第一部分 基础

这一部分介绍实体造型的基本概念,它在计算机辅助设计和制造中所起的作用以及构造图形和实体模型的主要方法。

第一章 导 论

1.1 模型化的目的

一般来说,“模型”是一个人为构造的物体,以便使人们容易观察现实世界中的物体。为了便于观察。像楼房、船舶、汽车等这样一些三维物体的“物理模型”,通常共享相对尺寸和它们的一般物理特征,而不是它们的大小。用于化学上的“分子模型”共享分子的各原子之间的相对排列,而不是它的其它性质。广泛用于科学和工程各领域中的“数学模型”是按数值数据和方程模型化来表示现象的某些特征的。

广泛用于设计和工程中的“工程图”也能看作是一些模型。通过一个二维图形集合,借助于约定的符号来表示尺寸、公差、表面特性、材料等等,就能为有经验的读者表达真实的三维信息。

模型是有用的,因为人们常常能够按模型研究物体的某些特性比按真实物体要容易得多。这可能是因为物体还不存在(如像物

理学的模型常常是这种情况),或是因为它不能直接观察到(如像分子的情况),或是因为它不能按可控的方式来验证(对于数学的模型常常是这种情况)。但是,物理和数学的模型在它们的应用范围内是有限的:一个新类型的问题常常要求一个新模型。

作为模型,工程图纸试图避免这些问题。它们有相当一般的目的:一个图纸能够用来提取许多任务的信息,当需要时也包括产生物理和数学模型。从这个普遍性来说它们起着参与物体设计的人们的“通讯介质”作用。与物理和数学模型不同。图纸还支持反复地“草图”地设计方式。在某些特定的情况下,图纸可能是含糊和不精确的,而物理和数学模型是表示或分析相对完善的物体的工具。

1.2 计算机模型

“计算机模型”由存于计算机文件中的数据组成,它们能够用来完成上面讨论的各种模型的类似任务,共享它们的长处,避免它们的短处。特别是,我们针对的是能支持广泛应用的一般目的的模型,如像工程纸那样。

1.2.1 几何造型

计算机模型存储的数据的总数取决于人们想要解决问题的范围,所推出的结论似乎不能限制潜在的所感兴趣的数据的数量。乍看起来,这似乎使计算机模型没有吸引力。

促使写这本书的关键在于我们试图通过模型来解决的许多问题本质上是“几何的”问题。例如,计算一个包含几何问题的物体的浓淡图象时所遇到的如下问题:

1. 物体的哪一部分对观察者来说是可见的?
2. 应分配给每一个图象元素什么颜色?

类似地,对数控机床生成控制顺序的问题基本上也是几何问题;机

床以哪种顺序移动将加工出物体的形状?

对这些问题来说,如果我们能恰当地表示物体的几何形状,我们也能对许多其它问题提供解答。事实上,物体的几何信息好像是大量的潜在信息中最重要的部分。况且,存贮和处理几何数据的技术相对独立于一些特殊的应用;实质上能够用相同的方法来构造机器、船舶、化工厂,和儿童食品容器的模型。

因而将处理物体几何形状的数据同其它非几何数据分开是有意义的。在这种方法中,对一特定范围的问题所需要的数据的总数被称之为“物体模型”,而它的纯几何的部分构成了一个“几何模型”。当然,几何模型是物体模型的一个子集。

1.2.2 实体造型

实体造型是几何造型的一个分支,它强调模型的通用性,同时也强调建立物理实体的唯一“完整”的表示,即在算法上解决任意几何问题的恰当地表示(在没有人交互帮助的条件下)。

按通用性的目标,把实体造型与其它类型的某些特殊目的的几何模型区分开来。“图形模型”是用来描述一个物体的“绘图”而不是物体本身。“形状模型”表示一个物体的图象,它们可以是图象元素的非结构的集合,或它们可以具有某些内部的结构来帮助图象处理操作。“表面模型”给出一个曲面的详细信息,但总是不能给出足够的信息来确定曲面所包围的物体的所有的几何特性。

因为我们所感兴趣的是一般目的的造型,所以在这本书中我们不考虑其它类型的计算机模型。并且我们将会看到构造这些模型的某些方法也是以实体造型为基础的。

1.3 实体造型所遇到的问题

通用性更多地要求实体模型的完整性和精确性。下面我们浅

要地讨论这本书以后将要涉及到的某些问题；在第三章中我们将较系统地讨论它们。

1.3.1 完备性(completeness)

物体最简单类型的计算机模型是把用于工程图的方法直接转换到计算机中来建立“二维图形模型”。这些模型是由二维图形如直线、圆弧、字符以及图形上所需要的其它注释所组成的。

图形模型非常适合于产生技术图纸且能提高它们的质量。遗憾的是，人们(至少是工程师们)能够恰当地理解工程图，而计算机却远远地落在经过训练的人们的后面。于是图形模型不能用作实体模型。

图形模型所存在的问题之一是它完全有可能使图纸表示出不真实的形状；例如图 1.1 的例子[105]。而且尽管在一些简单的问题上得出了某些有意义的结果，在算法上从二维图形的集合推导出正确的三维信息的问题实际上还没有解决。

借助于某些计算机的能力，采用加进第三坐标的信息就能把二维图形模型改进成相应的三维模型。这就得到通常称之为“线架”模型的实体表示。利用线架模型，就能够存储唯一的一个单个的三维

模型，并且从它产生所有需要的二维视图。因而能够克服二维图形模型所存在的问题之一，即不容易使绘图的各视图保持一致。

遗憾的是，一个三维线的集合不足以表示一个形状，因为线的某些集合按照实体可能有好几种解释。在图 1.2 中给出了标准的例子。

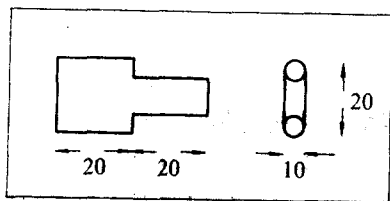


图 1.1 一个无意义的图形