

智能CAD 方法与模型

潘云鹤 著



科学出版社
1997

智能 CAD 方法与模型

潘云鹤 著

科学出版社

内 容 简 介

本书较系统地论述了智能 CAD(ICAD)的概念、理论及技术,内容涉及了 ICAD 相关的人工智能、CAD 和认知科学等诸多领域。书中从智能 CAD 的历史沿革、基本原理及技术范畴出发,将智能 CAD 的研究划分成为面向方案形成的 ICAD、面向设计对象/知识表达的 ICAD 和围绕 ICAD 的体系结构等三个方面,并将目前国际上的各种 ICAD 方法汇总在这三方面之中。书中对基于推理的设计方法、基于搜索的方法、基于 Case 的方法、基于原型的设计方法、基于信息流的方法等等 ICAD 方法进行了详细的论述。另外,书中还介绍了著者在 ICAD 领域中完成的“智能彩色平面图案创作系统”、“广告设计系统”等 ICAD 的实用系统。

本书可作为计算机专业及相关工程技术专业的研究生教材,同时也可供高等院校相关专业师生和从事智能 CAD 专业的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能 CAD 方法与模型/潘云鹤著. —北京:科学出版社,1997. 3

ISBN 7-03-005941-7

1. 智… I. 潘… II. ①计算机辅助设计-模型 ② 计算机辅助设计-方法 IV. TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 02513 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

浙江省德清市德清印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1997 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1997 年 3 月第一次印刷 印张:25 1/4

印数:1-3 000 字数:646 000

ISBN 7-03-005941-7/TP·804

定价:40.00 元

序

CAD 和计算机图形学(CG)同时诞生。30多年来,CAD 技术有了迅猛的发展。它从当初的随机图形学转换到光栅图形学,从只能描绘线框图形到画出几近乱真的真实感图形,从2维图形到3维造型技术,并进而从几何形表示到自然形表示和到特征模型,从起初简陋的图形文件结构到当代复杂的工程数据库,从静态画面到动画,从图形到图形图像的融合,从CAD到CAM进而发展到CIMS,从光笔到鼠标到虚拟现实(VR)等等。这一系列迅猛的进步,形成了系统的方法与理论,在工程实践中产生了巨大效益。

市场经济的发展对产品设计开发与开发提出了强烈的创新要求,这种要求也自然对准CAD技术。但是,以往基于CG的CAD技术在绘图速度方面是巨人,在设计和创造方面却是侏儒。而市场经济不仅需要设计高速,更需要优质,特别要求产品创新。CAD首先遇到的问题是要求设计出更具美感的造型。人的美感是由多种因素综合而成的一种共鸣。个人的美感和人类普遍的审美规律有关。现已公认的审美普遍规律有平衡、韵律、节奏、协调、比例等等,它们直接或间接地源于人类的生理结构。个人的美感还和其脑中已有的知识结构有关。输入信息与脑中已有知识结构太近或太远都不会引起美感,前者认知太容易,后者认知太困难,甚至导致认知失败。因此可以认为,美感也源于一种有适度活动量的,结果导致成功的认知过程。故画家齐白石说:“画贵在似与不似之间。”此外,个人的美感还受到社会上他人的影响,尤其是个体仰慕者的好恶,即所谓“上有所好,下必甚焉”。

智能CAD的研究正为此目的作出积极的探索。探索之一是研究“造型专家系统”。专家系统是70年代在人工智能领域里发展起来的一门技术。其关键是知识表达,即将专家的知识形式化描述为能在计算机内存储、变换和控制程序运行途径的数据,从而使得程序系统能够像专家一样诊断疾病、分析地质资料、判断设备故障等等。造型专家系统的难点之一是如何将引起人类美感的规律表达为计算机可以接受的知识。我们在70年代末开始做的一项尝试是将艺术图案的构图规律和色彩规律形式表达为知识,以此为基础构成了一个美术图案创作的专家系统。它包含一个推理机,能够根据用户的要求和构图规律逐层演绎出一幅图案的构图,然后根据色彩知识规划出图中各部分的色彩,以求得色彩之间的对比与协调的统一。这个系统能够以很快的速度自动画出各种不同的图案,更有吸引力的是其中很多图案给人新鲜之感。该系统后来和分色制版CAM技术相结合,发展为一个智能CAD/CAM的集成系统,在纺织轻工企业得到效益显著的应用。

构造“造型专家系统”的问题是:我们对造型美感的普遍机理还不十分清楚,因此对相当多的造型创新问题无法给出形式化的知识表达。研究者发现人类设计师的造型创新能力,除了源于对审美基本规律的认识以外,还源于借鉴。设计师通常收集有大量资料。这些资料不仅提供素材,而且提供创新的启发。这些启发具有两个特征:其一它们都是基于形象素材的,通常无法形式化为框架、规则等等传统的基于字符的知识表达;其二是设计者常常使用“张冠李戴”、“移花接木”、联想、类比等等操作形象的手法达到“异质驯化”和“驯质异化”的创新目标,而传统的AI方法没有提供这类技术。

我们在1994年做的一个设计试验说明了借鉴形象资料对设计的重要性。该试验请60多

名学生各按 4 种要求设计 4 把椅子,并自己记录设计过程的思路。结果发现这 240 条思路分别聚集为 4 种思维过程类型。每种类型分别有不同的创新概率,从小到大排列为“范例修改型、分解综合型、约束联想型、抽象逆反型”。4 种类型都主要使用形象思维。

上述人类设计过程中,有三处关键方法需要研究:第一是如何借鉴;第二是如何联想;第三是如何综合。研究者现在正分头探索,首先将人工智能中的基于事例推理(CBR)方法用于模型设计中的借鉴。设计资料可以看成是一种事例,推理可以泛化为设计,于是基于事例推理模型可以用于基于资料的设计方法。资料和事例之间很大的不同在于资料多数为形象信息,它们具有整体性,需要整体性操作。基于资料的设计方法已被用于住宅建筑 CAD,采用方法类似于范例修改型,设计速度很快,但缺少创造性。人工智能中的类比推理加以发展之后可用于联想的模拟。传统 AI 中的类比推理是将已知命题(称为基)的结构与类比命题(称为靶)的结构作匹配,推出后者未知部分的正确与否。可见,这是一种面向判断的操作。但在设计中联想的目标是生成,操作的是形象信息,这与传统 AI 中的类比推理相比有很大的不同。因此研究形象信息的类比生成的课题就被提了出来。说明这项研究的最简单的例子是一种用计算机画漫画的方法。最近还有研究者将这种方法成功地用于广告设计和报刊版面的自动排版。

在方案设计中,应用得最多的思维方法大概莫过于分解综合。新的分解,意味着新的观点;新的综合,意味着新的结果。分解综合,对于创新性思维十分重要。但是在传统的 AI 中,研究了大量的演绎、归纳,也涉及到了类比,然而对分解综合的研究却是一片空白。逻辑系统的完整、丰富、精密和优美宛如巨大的磁石,将 AI 的研究者统统吸引了过去,垦荒者寥寥可数。直到在 1995 年蒙特利尔的 14 届国际 AI 联合大会上,美国卡内基-梅隆大学著名教授 H. A. Simon 疾呼 AI 研究还要面向直感(Intuition)、顿悟(Insight)和灵感(Inspiration),众人才开始注意逻辑系统以外的这片新天地。

我们从 1993 年起研究形象信息的综合机理,继而提出了综合推理的模型。这个推理模型含有一些有意思的特点,如:它可以允许多个源同时参与推理,因此具有开放性;它的推理结果产生在一个可以连续变化的综合空间之内,因此易于搜索和满足设计要求;它是一种整体性操作,因此,在推理过程中各部件发生变化的同时,它们之间的关系也发生相应协调的变化。这种操作的整体性,是形象思维区分逻辑思维的重要特征之一。形象能综合的前提是它们首先要被分解。但现在只能靠人机交互分解一个形象。如何用计算机自动分解对象,是一个还没有被解决的难题。一旦计算机能自动合适地分解形象,就一定能在设计创新能力上更上一层楼。

产品创新在要求 CAD 智能化的同时,还要求 CAD 网络化。如果将企业作为一个结点的话,那么企业产品创新设计需要从企业外的 4 个方面获得信息:(1)市场的反映;(2)材料和器件的供应;(3)与产品直接和间接有关的科技成果;(4)国内外同类产品的性能和价格。如果每个企业的产品都用这样 4 条设计信息链和其他企业产品相连,就构成了一个 CAD 信息网络。使用 CAD 信息互联网,设计者和企业决策者可以快速获得设计信息。目前,人工智能专家正在对 CAD 信息网进行 3 方面的研究工作:一是研究网络中的“食物链”和“竞争链”。网络中一个个产品的供销关系联成了一条条食物链。同一条食物链上的各企业皆为盟友,一荣俱荣,一损俱损。其他同类产品的食物链皆是该产品的“竞争链”。它与它们之间既要取长补短,讨论合作,又要竞争市场。人工智能将用于制订在这种复杂环境下的设计对策。二是研究协同式的 CAD 方法,即多个 CAD 系统如何联合解决一个设计问题。AI 中的多智能体模型提供了技术。三是研究网络中与设计有关的知识 and 成果的发掘。由于互联网信息十分庞大,如用人工寻找整理有关科研成果,特别是间接成果,工作量很大。目前正在研究的 Data mining 和 Knowledge mining

技术,将为企业在网络中寻求最新技术,综合成新产品提供有力的支持。

如果说过去的 10 年,从 CAD 到 CIMS,走的是集成之路,主要应付提高生产效率的挑战;那么在未来的 10 年,CAD 将走上智能化和网络化之路,它将迎接创新和市场挑战的挑战。与前 10 年相比,其难度要大得多,然而其吸引力和影响力则将大得更多。

浙江大学智能 CAD 实验室的许多学者都参加了本书的工作。其中庄越挺副教授参与第八、十五章的撰写,耿卫东博士参与第九、十四章的撰写,吴朝晖副教授参与第六、十章的撰写,朱陆平博士、鲁东明博士分别参与第五和十二章的撰写,陆玮琳副教授、徐冬溶博士、田为博士参与第二、四、十章的撰写。庄越挺副教授、杨宇艇博士、劳志强博士、陈卫东博士做了大量的校对工作。为保证本书质量,龚建勋先生作为特邀编辑,作了深入细致的工作。在本书所述的一系列研究工作的立项、研究、鉴定过程中,很多学术界的前辈、老师和朋友都给予了重要的指导、鼓励和帮助,作者借此机会表示衷心的感谢!

智能 CAD 是一门正在发展中的学科,作者的水平有限,所述不当之处,敬请读者不吝指正。

潘云鹤
于求是园

目 录

第一章 CAD 系统与方法

1.1 CAD 的概念和历史	1
1.1.1 CAD 基本概念	1
1.1.2 CAD 的历史	1
1.1.3 CAD 系统的类型	2
1.2 CAD 硬件系统	4
1.2.1 CAD 硬件	4
1.2.2 图形显示设备	4
1.2.3 2D 图形输入设备	6
1.2.4 图形输出设备	8
1.2.5 PC-CAD 硬件与工作站	9
1.2.6 3D 物体输入设备	11
1.2.7 VR 相关的设备	12
1.3 CAD 软件系统	13
1.3.1 CAD 软件系统的层次	13
1.3.2 CAD 通用软件	15
1.3.2.1 图形软件及其标准	15
1.3.2.2 造型软件	16
1.3.2.3 工程分析软件	17
1.3.2.4 工程数据库管理软件(工程 DBMS)	18
1.3.2.5 人工智能软件	19
1.3.3 CAD 系统举例——AutoCAD 简介	20
1.3.4 CIMS	21
1.4 CAD 方法	22
1.4.1 面向画面方法	23
1.4.2 面向计算方法	23
1.4.3 面向对象造型方法	24
1.4.4 面向综合方法	24

第二章 设计的认知

2.1 设计问题求解	25
2.1.1 设计问题求解及其信息表征分析	25
2.1.2 设计理论及模型分析	26

2.1.3 设计系统的形式化模型	27
2.1.4 智能 CAD 系统中的设计模型	28
2.2 设计创新的思维方法	32
2.2.1 抽象思维和形象思维	32
2.2.1.1 形象思维和抽象思维的不对称模型	32
2.2.1.2 形象信息与抽象信息的一致化度量	34
2.2.1.3 抽象思维	38
2.2.1.4 形象思维	40
2.2.1.5 小结	44
2.2.2 创造性思维	45
2.2.2.1 创造性思维概述	45
2.2.2.2 创造性思维的二重性	46
2.2.2.3 创造性思维的四阶段论	47
2.2.2.4 创造性思维的二阶段论	47
2.2.2.5 创造性思维模型	48
2.2.2.6 类比推理的创造性	49
2.2.2.7 逆向思维方式的创造性	49
2.2.3 创造性设计方法举例	50
2.2.3.1 头脑风暴法	50
2.2.3.2 组合创新法	51
2.2.3.3 类比方法	52
2.2.3.4 缺点逆用法	52
2.2.3.5 中山正和法	53
2.2.3.6 理想化方法	53
2.3 形状方案设计思维模型	54
2.3.1 对象选例型	55
2.3.2 约束联想型	56
2.3.3 分解综合型	56
2.3.4 抽象逆反型	58
2.3.5 小结	58

第三章 智能 CAD 的领域与方法

3.1 智能 CAD 的概念与历史	60
3.1.1 智能 CAD 的概念及背景	60
3.1.2 智能 CAD 的历史回顾	61
3.1.3 智能 CAD 的几个发展历程	63
3.1.3.1 通用设计理论(GDT)	63
3.1.3.2 设计过程的各方面的智能支持	65
3.2 智能 CAD 的领域	65
3.2.1 自动方案生成	65
3.2.2 智能交互	66

3.2.3 智能显示	67
3.2.4 自动数据获取	67
3.3 智能 CAD 方法研究的三个方向	68
3.3.1 面向方案形成过程的 ICAD 方法	68
3.3.2 基于设计对象表达的 ICAD 方法	70
3.3.2.1 提出背景	70
3.3.2.2 基于实例的设计方法	70
3.3.2.3 基于原型的设计方法	71
3.3.2.4 述评	71

第四章 基于知识的推理方法

4.1 形状文法	73
4.1.1 形状与形状文法概述	73
4.1.2 图案和雕塑的形状文法及生成规范	76
4.1.2.1 图案	77
4.1.2.2 形状文法	78
4.1.2.3 选择规则(Selection rules)	80
4.1.2.4 填充规则(Painting rules)	80
4.1.2.5 雕塑、美学和设计	81
4.1.3 用形状文法模拟建筑风格	81
4.1.3.1 单轴线别墅平面	82
4.1.3.2 双轴线别墅平面	85
4.1.3.3 结论	87
4.2 基于规则的设计方法	88
4.2.1 基于规则的设计方法概况	88
4.2.2 基于规则的工艺设计	88
4.2.3 ZDCAPP: 一个基于规则的 CAPP 实例	89
4.2.3.1 系统的设计思想	89
4.2.3.2 零件的特征描述	90
4.2.3.3 基于规则的定位设计	91
4.2.4 加工工艺设计	91
4.3 基于框架的设计方法	95
4.3.1 框架的一般描述	95
4.3.2 基于框架的形状表达方法	96
4.3.3 基于框架的形状生成方法	101
4.3.3.1 二维几何形状的交互生成	101
4.3.3.2 形状+形状→形状(由形状生成形状)	103
4.4 例子:图案创作智能 CAD 系统	106
4.4.1 系统结构	106
4.4.2 知识表达和知识获取	108
4.4.3 知识的学习	110

4.4.4 结论与评价	111
-------------------	-----

第五章 基于搜索的设计方法

5.1 搜索的一般描述	113
5.1.1 搜索的介绍	113
5.1.2 问题求解	113
5.1.2.1 状态空间	114
5.1.2.2 产生式系统	115
5.1.2.3 控制策略	116
5.1.3 深度优先搜索	118
5.1.4 宽度优先搜索	118
5.2 启发式搜索算法	119
5.2.1 估价函数	119
5.2.2 最佳优先算法	120
5.2.3 A* 算法	120
5.2.4 启发式搜索用于空间规划	121
5.3 用搜索方法来优化设计	123
5.3.1 总体搜索	123
5.3.2 黄金分割搜索	124
5.3.3 模式搜索	124
5.3.4 单纯形法	125
5.4 例子:自动装载系统	126
5.4.1 问题的提出	126
5.4.2 问题的分解	128
5.4.3 系统结构	130
5.4.4 小结	133

第六章 约束满足的设计方法

6.1 基于约束满足设计的概况	134
6.2 约束满足的形式描述和典型的算法	136
6.2.1 约束满足问题的形式描述	136
6.2.1.1 定义	136
6.2.1.2 简化的搜索算法	137
6.2.1.3 简化的搜索算法分析	138
6.2.2 提高一致性的算法	138
6.2.2.1 约束传递	138
6.2.2.2 局部一致性搜索算法	139
6.2.3 混合算法(Hybrid Algorithms)	141
6.2.3.1 前瞻算法(Look-ahead Algorithms)	141
6.2.3.2 后看算法(Look-back Algorithms)	141
6.2.3.3 其他算法(Other Algorithms)	142

6.2.4 基于启发性信息的算法	143
6.2.4.1 基本的启发性信息	143
6.2.4.2 理论基础上的启发性信息方法	144
6.2.4.3 网络基础上的启发性信息方法	145
6.3 面向设计的约束语言和类型	145
6.3.1 约束描述语言	145
6.3.1.1 DOC 约束描述语言概述	145
6.3.1.2 DOC 约束语言内部处理机制	148
6.3.1.3 实例:基于 DOC 的窗门的自动调节器的设计	148
6.3.2 约束类型	150
6.3.2.1 约束类型的概述	150
6.3.2.2 约束类型之一:几何约束	150
6.3.2.3 约束类型之二:工程约束	150
6.4 基于约束的参数化设计	151
6.4.1 什么是基于约束的参数化设计	151
6.4.2 轮廓构造的参数化设计系统	151
6.4.3 机制之一:几何描述的轮廓输入	152
6.4.4 机制之二:变动几何法的特征点求解	153
6.4.5 机制之三:几何推理法	153
6.4.6 基于约束的参数化设计特点	154
6.5 基于约束的概念设计和约束管理	154
6.5.1 约束与概念设计	154
6.5.2 CONGEN:基于约束的概念设计系统	155
6.5.3 基于约束的综合器	157
6.5.4 约束管理器	160

第七章 基于综合推理的方法

7.1 类比推理	162
7.1.1 类比推理起源	162
7.1.2 类比的科学基础	163
7.1.3 类比推理理论	164
7.1.4 类比推理的根本着眼点	166
7.2 类比生成	167
7.2.1 类比生成模型	167
7.2.2 类比生成的几何直观含义	170
7.3 综合的设计方法	171
7.3.1 推理的捆绑	171
7.3.2 综合推理模型	174
7.3.3 综合推理特点	176
7.4 例子:基于综合推理的图案设计系统	177
7.4.1 思想的提出	177

7.4.2 图案的四要素	178
7.4.3 单要素综合模型	179
7.4.3.1 图元形状的综合	179
7.4.3.2 色彩的综合	180
7.4.3.3 纹理的综合	182
7.4.3.4 布局的综合	182
7.4.4 双要素综合模型	184
7.4.4.1 形状与色彩的综合	184
7.4.4.2 形状与纹理的综合	185
7.4.4.3 色彩与纹理的综合	185

第八章 基于实例的设计方法(CBD)

8.1 CBD 的提出	187
8.1.1 CBR 的概念	187
8.1.2 CBR 的算法流程	188
8.1.3 基于范例的设计 CBD——概念和历史回顾	189
8.2 CBD 的系统结构	190
8.2.1 设计 Case 的表达	190
8.2.2 设计 Case 的内存组织	191
8.2.2.1 MOP 结构	191
8.2.2.2 EMOP 结构	192
8.2.3 CBD 的算法流程	196
8.3 匹配与适应	196
8.3.1 CYCLOPS 基于 CBR 的设计系统	196
8.3.2 Case 的适应	197
8.4 实例——基于 Case 的广告设计系统	200
8.4.1 广告设计问题的特点	200
8.4.2 广告 Case 的表示	202
8.4.3 广告 Case 的推理算法	204
8.4.4 实现	205
8.4.5 讨论	206

第九章 基于原型的设计方法

9.1 原型法的提出	207
9.2 原型的表达、组织及学习	208
9.2.1 原型的表达	208
9.2.2 原型的组织	210
9.2.3 原型知识的学习及一致性维护	210
9.3 基于原型的设计推理	211
9.3.1 原型上的操作	211
9.3.2 设计约束的冲突解决	212

9.3.3 基于原型的设计推理机制	213
9.3.4 基于原型的智能 CAD 模型	214
9.4 例子:椅子智能 CAD 实验系统——AutoChair	215
9.4.1 系统概述	215
9.4.2 椅子原型的表达	217
9.4.3 原型的组织与检索	220
9.4.4 基于原型的设计推理机	221
9.4.4.1 尺寸设计	221
9.4.4.2 造型设计	222
9.5 自动造型技术	223
9.5.1 概念术语解释	223
9.5.2 部件生成	225
9.5.3 结果装配	225
9.6 运行实例分析	226

第十章 协同式设计(Collaborative Design)

10.1 协同式设计背景	228
10.1.1 协同式设计:多领域问题	228
10.1.2 面临的问题	228
10.2 协同式设计基本概念	232
10.2.1 几个相近术语和概念	232
10.2.2 协同式设计概念结构	233
10.2.3 协同式设计的关键技术和问题	234
10.3 协同式设计的理论基础之一:协同理论(Coordinative Theory)	234
10.3.1 概述	234
10.3.2 协同理论的基本框架	235
10.3.2.1 协同的概念	235
10.3.2.2 基本协同过程	235
10.3.3 协同理论的方法和技术	236
10.3.3.1 基于相关学科协同概念的设计方法	236
10.3.3.2 协同合作工具分类	237
10.4 协同式设计理论基础之二:面向 Agent 的设计理论	238
10.4.1 什么是 Agent	238
10.4.2 AOP 的形式描述系统	238
10.4.3 AOP 的通讯语言	239
10.4.4 AOP 计算框架的解释器	241
10.5 协同式设计关键技术之一:共享知识表达与语义一致化	242
10.5.1 概述	242
10.5.2 知识交换的统一表达格式	243
10.5.2.1 KIF 的介绍	243
10.5.2.2 概念图 CG 的介绍	243

10.5.3 语义一致化的算法	244
10.5.3.1 基于本体论分类的定义一致化算法	244
10.5.3.2 基于关联元语的映射算法	245
10.6 协同式设计关键技术之二:冲突检测 and 解决	247
10.6.1 概述	247
10.6.2 基于 Petri 网的一致性(冲突)检查方法	248
10.6.3 基于真值的冲突检测方法	250
10.6.4 基于约束不可满足的冲突检测方法	250
10.6.5 基于启发式分类的冲突解决	251
10.7 协同式设计关键技术之三:协同式体系结构	252
10.8 典型系统介绍	253
10.8.1 PACT:联邦型的协同式设计系统	253
10.8.1.1 概况	253
10.8.1.2 PACT 实验操作演示	254
10.8.1.3 PACT 实现机制	256
10.8.2 IMCOD:综合设计	257
10.8.2.1 概况	257
10.8.2.2 IMCOD 的实现机制	258
10.8.3 协同式工程设计系统 DICE	260
10.8.3.1 概况	260
10.8.3.2 实现机制	260
10.8.3.3 实例:设计与建造协同化设计的任务跟踪	261

第十一章 基于专家系统的设计方法

11.1 专家设计系统的原理	263
11.1.1 专家系统简史	263
11.1.1.1 DENDRAL:专家系统的诞生	263
11.1.1.2 第一代专家系统(1965年至1980年)	263
11.1.1.3 第二代专家系统(1980年至80年代末)	264
11.1.1.4 第三代专家系统(知识系统)研究	265
11.1.2 专家系统的类型	266
11.1.2.1 专家系统的分类	266
11.1.2.2 设计型专家系统	267
11.1.3 专家系统开发过程	268
11.1.3.1 知识获取阶段	268
11.1.3.2 知识形式化阶段	269
11.1.3.3 系统测试阶段	270
11.1.3.4 系统重构阶段	270
11.2 专家系统的基本结构	270
11.2.1 知识库	270
11.2.2 数据库	274

11.2.3 推理机	274
11.2.4 解释部分	275
11.2.5 知识获取部分	277
11.3 ZUEDES: 液压挖掘机设计的专家系统	278
11.3.1 概述	278
11.3.2 挖掘机设计专家系统的构造过程	278
11.3.3 问题描述和知识表达	279
11.3.4 推理与控制策略	281
11.3.4.1 方案设计: 整机原理方案和主要参数选择	281
11.3.4.2 技术设计: 各机构的设计参数选择	282
11.4 分布式专家系统	282
11.4.1 分布式专家系统的提出	282
11.4.2 分布式专家系统类型与基本问题	283
11.4.3 分布式专家系统的概念结构	285
11.5 地下管道布线的多专家系统设计系统介绍	286
11.5.1 概况与基本概念	286
11.5.2 系统结构分析	287
11.5.2.1 体系结构	287
11.5.2.2 知识表达	288
11.5.2.3 智能体结构	290
11.5.2.4 合作与冲突解决策略	291
11.5.3 系统特点与运行环境	291
11.5.4 进一步讨论	291

第十二章 基于信息流的设计方法

12.1 问题的提出	293
12.1.1 传统 CAD 系统中存在的问题	293
12.1.2 CAD 系统的智能、集成化研究	294
12.1.3 信息流设计方法的理论基础	295
12.2 设计过程中的信息流特点分析	297
12.2.1 信息流设计方法对设计本质的理解	297
12.2.2 设计过程中的信息流操作	298
12.2.3 智能和集成化设计方法下的信息流	300
12.3 基于设计信息流的模型结构	301
12.3.1 信息流设计模型的总体描述	301
12.3.2 设计对象空间非单调搜索中的信息流模型	303
12.3.3 设计知识处理中的信息流模型	304
12.3.4 设计多阶段迭代约束满足中的信息流	305
12.4 总结	306
12.4.1 基于信息流设计模型 DIFM 的分析和讨论	306
12.4.2 基于信息流设计模型的 IICAD 系统简介	307

第十三章 智能显示技术

13.1 问题的提出	310
13.2 基于图像处理的智能显示技术	312
13.2.1 基本原理	312
13.2.2 几种典型视觉效果的模拟算法	313
13.3 基于画笔的智能显示技术	316
13.3.1 画笔的概念	316
13.3.2 画笔的绘制原理	317
13.3.3 画笔绘制的一般流程及算法	318
13.4 基于知识的智能显示方法	319
13.4.1 体素的明暗描绘知识分析	320
13.4.2 基于知识的智能显示原理	321
13.5 述评	323

第十四章 三维形体的智能重建 VCM 方法

14.1 问题的提出	324
14.2 相关工作介绍	326
14.2.1 从单视图重建三维模型研究	326
14.2.1.1 标记线方法	326
14.2.1.2 梯度(Gradient)空间方法	327
14.2.1.3 线性规划方法	327
14.2.1.4 感知方式	327
14.2.1.5 体素标识方法	328
14.2.2 由多视图重建三维模型研究	328
14.2.2.1 B-rep 方法	328
14.2.2.2 CSG 方法	330
14.2.3 述评	331
14.3 VCM 方法	332
14.3.1 VCM 方法的算法思想	332
14.3.2 VCM 方法概述	333
14.3.3 VCM 方法的实现	334
14.3.3.1 视觉重建特征的提取	335
14.3.3.2 基元的划分与生成	335
14.3.3.3 推理机制	336
14.4 VCM 方法的分析与评价	337

第十五章 智能 CAD 环境与工具

15.1 智能 CAD 开发环境	339
15.1.1 智能 CAD 开发环境的提出	339
15.1.2 智能 CAD 开发环境的基本组成	339

15.2 智能 CAD 的造型工具	342
15.2.1 问题的提出	342
15.2.2 ZDSOLID 简介	342
15.2.2.1 机器语言级造型——半边结构及存取操作	342
15.2.2.2 汇编语言级造型——欧拉算子	344
15.2.2.3 中间语言级造型——局部操作	344
15.2.2.4 高级语言级造型——布尔操作	345
15.2.3 自动造型技术	346
15.3 知识工程系统	347
15.3.1 KES 的一般概念	347
15.3.2 实例:“天马”之常规推理机	349
15.3.2.1 常规推理机的工作原理	350
15.3.2.2 常规推理机的知识表达文法	352
15.3.2.3 “天马”的解释机制	364
15.3.2.4 “天马”对设计问题的支持	365
15.4 工程图纸的自动理解	368
15.4.1 问题的提出	368
15.4.2 工程图纸自动理解的一般流程	368
15.4.3 预处理	370
15.4.4 矢量化	371
15.4.5 图形元素的抽出与识别	374
15.4.5.1 文字的分离与识别	374
15.4.5.2 符号的识别	374
15.4.5.3 线的识别	374
15.4.5.4 尺寸标注的识别	375
15.5 面向对象的工程数据库	380
15.5.1 问题的提出	380
15.5.2 面向对象的工程数据库的功能和特点	381
15.5.3 面向对象的工程数据库关键研究问题	382
15.5.4 典型商品化系统介绍	383
参考文献	385