

钟诗胜 著

工程方案设计中的 模糊理论与技术

哈尔滨工业大学出版社

工程方案设计中的 模糊理论与技术

钟诗胜 著

哈尔滨工业大学出版社

2000·哈尔滨

内 容 简 介

本书讨论了工程方案设计中的关键的模糊理论与技术。全书共分八章,内容包括:工程方案设计中模糊性的普遍性、模糊设计信息处理的相关理论基础、异构实例的分类模型和基于模糊语义距离的相似实例检索模型、基于模糊集重心和基于模糊重心矩的模糊综合评价技术、智能化模糊设计信息处理的理论与技术以及实际开发的五个方案设计系统。

本书可供从事工程设计、人工智能研究与教学的人员参考,也可供高等学校有关专业高年级学生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

工程方案设计中的模糊理论与技术/钟诗胜著. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2000.6

ISBN 7-5603-1521-6

I.工... II.钟... III.模糊控制-应用-工程-设计 IV.TB21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 25810 号

出版者: 哈尔滨工业大学出版社出版发行

地 址: 哈尔滨市南岗区教化街 21 号

邮 编: 150006 电话: 0451-6414749

印刷者: 哈尔滨工业大学印刷厂印刷

开 本: 850×1168 1/32 印张 8.25 字数 210 千字

版 次: 2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-5603-1521-6/TP·148

印 数: 1-2 000

定 价: 18.00 元

序

客观世界的复杂性被体现在许多方面，诸如开放性、时变性和不确定性等等，可以说，描述“复杂性”本身又是十分复杂的问题。为了认识客观世界，随后顺应其规律性，适当地改造和创造世界，人类在漫长的历史长河中进行了艰苦的探索和研究，尽管未知的东西今后将永远不可穷尽，但应该说人类在自然科学和技术领域已经取得了辉煌的成就。例如，作为一种不确定性的随机性，对其的研究就很出色，无论在理论上还是在实践上都取得了很好的成绩。但是相对而言，对另一种不确定性，即模糊性的研究和应用就差得较远，虽然人们已经认识到客观世界结构和行为的描述离不开模糊性。按照唯物论的观点，世界是物质的，物质是第一性的，人的意识仅仅是客观事物在人脑中的反映。世界有模糊性，对其反映的意识也必然有模糊性。世界的模糊性要求我们必须用“模糊”的观点去观察世界和认识世界，必须用模糊的理论和方法去改造世界。60年代中期，美国伊朗数学家扎德(L. A. Zadeh)提出的模糊集合论为用数学方法来描述模糊性提供了一条有效的途径。在其后的几十年中，尽管其发展并不十分尽人意，但毕竟已形成了一门新生的学科，在理论和应用方面都取得了不少成绩。特别值得一提的是，我国的模糊数学工作者以及许多领域的应用研究工作者们在其中做出了很多杰出的贡献。目前，模糊理论和技术已在逻辑推理、自动控制、模式识别、分类聚类、故障诊断、综合评判、决策支持以及数据库等应用领域取得了较大的成功。随着模糊理论与技术研究的不断发展，其应用前景将日益广阔。

方案设计是整个工程设计的关键一步，对整个工程项目的功能和质量起着决定性作用。不难发现，在工程方案设计过程中存在着许许多多的模糊信息，要求设计师们根据各种模糊信息和模糊知识做出合适的设计抉择和具体设计。可见，仅仅采用精确的理论和方法是远远不够的。为了提高设计方案的质量，保证方案设计结果与客观需求的符合性，模糊理论与技术在其中大有可为。本书的内容就是研究在工程方案设计中应用模糊理论与技术的问题。本书从实例角度阐述了工程方案设计中的模糊性，讨论了一些具有实用意义的模糊设计方法和技术，并用多个实例阐明了方法的有效性。钟诗胜博士对此问题的研究已有较长的时间，积累了较丰富的实践经验，其中五个实例都是他亲身工作的总结，这使得本书的实用性很强。笔者认为，本书的出版必将对模糊理论与技术在我国推广应用起到较大促进作用。

本书研究的课题至今仍是相对较新的问题，因此还有很多理论的和技术的相关问题需要进一步研究。不但理论需要深化，而且应用需要推广和提高，可谓任重而道远。祝愿此书出版成功，并希望能引起同行们的关注和讨论。

何新贵

2000年5月8日于北京

前 言

从 1992 年到 1995 年期间,我在华中理工大学 CIMS 中心攻读博士学位研究生期间,参加了国家“八五”重点科技攻关项目——“重型数控机床模块化设计与制造”和国家“863”重点资助项目——“空地一体化软硬武器综合作战效能仿真模型”的研制。在 1996 年到 1998 年期间,我进入哈尔滨工业大学从事博士后的研究工作,参加了国家自然科学基金项目——“基于虚拟现实技术的机械运动方案设计系统的研究”。1998 年 6 月博士后出站后,我又负责了两个国家“863”计划项目——“水电机组方案设计系统的研制”和“机械设计虚拟环境建造的关键技术及系统实现”。近 8 年来,一直围绕着“方案设计”这个主题来工作的,特别是围绕着“工程方案设计中的模糊理论与技术”这一问题来开展工作的。这本书是我近 8 年工作的总结,其中也渗透了我在攻读博士和博士后期间的指导老师们的心血,在此,谨向辛勤培育过我的余俊教授、陈湛闻教授、周济教授、何新贵教授、王知行教授表示衷心的感谢!本书是国家“863”计划项目成果的总结(项目号:863-511-9842-008)。

一般地说,工程设计分为需求分析、方案设计、技术设计和施工图设计四个阶段。需求分析是产品设计的第一步,它是在市场预测、可行性分析的基础上,根据用户要求,确定设计参数及约束条件,最后给出详细的设计要求表,作为设计、评价、决策的依据。未经深入需求分析的产品设计容易陷入盲目性。产品的方案设计是在需求分析的基础上所进行的产品功能原理的设计。设计人员在方案设计阶段采用各种方法通过创新构思、搜索探求,从多个方案中经过排序优选,取得尽可能优的原理方案。方案设计是产品设计的关键一步,据统计,产品成本的 70%~80%是在方案设计阶段确定的。同时,方案设计是一个典型的知识密集型劳动,是一个充满着智慧的工作过程,要取得优良的设计方案,设计师必须具有丰富的设计

经验和设计知识，掌握众多的设计实例。设计经验、设计知识和设计实例的处理和利用是方案设计阶段的重要特征。在方案设计过程中，设计信息的处理贯穿于方案设计的全过程。设计信息可分为确定型设计信息和不确定型设计信息两大类。确定型设计信息的处理理论较为简单，而与此相比，不确定型设计信息的处理就显得复杂得多了。不确定型设计信息又分为随机设计信息和模糊设计信息。随机设计信息是由于对事物因果规律掌握不够，也就是对事物发生的条件无法严格控制，以至于一些偶然因素使试验结果产生了不确定性，但事物本身却是有明确的含义的。而模糊性是指边界不清楚，即在质上没有明确的含义，在量上没有明确的界限，是事物的差异之间存在着中间过程的结果。事实上，模糊性普遍存在于客观世界中，无处不在，无处不有。根据面向对象的思想可以知道，世界是由各种层次的对象组成的。不同的对象之间相互联系和相互作用，这种相互联系构成了世界的静态结构，而这种相互作用就构成了世界的动态行为。方案设计中模糊性的普遍存在，首先表现在设计对象属性的模糊性，这就决定了设计对象之间的相互联系和相互作用也是模糊的。

本书承蒙我国著名计算机软件专家何新贵教授精心审阅，提出了许多宝贵的修改意见并作序，在此表示衷心的感谢。

费根鲍姆(Feigenbaum)教授认为：“所有的设计过程都是基于实例的过程，所有的设计问题都是面向实例的。”本书就是以实例的分类、相似实例的检索、候选实例的评价、多方案的排序为主线条来讨论工程方案设计中的模糊理论与技术的。本书的内容仅是作者的一孔之见，宥于见闻，难免挂一漏万，有不足之处，恳请专家批评指正。

作 者

2000年4月于哈尔滨工业大学

目 录

第 1 章 工程方案设计中的模糊性	1
1.1 工程方案设计的一般过程	1
1.1.1 决策及决策过程	1
1.1.2 工程方案设计的一般过程	4
1.2 基于实例推理的方案产生	8
1.2.1 专家系统面临的困难	8
1.2.2 基于实例的推理技术	9
1.2.3 基于实例推理的方案设计技术	12
1.3 工程方案设计中的模糊性	13
1.3.1 模糊性的普遍性	13
1.3.2 设计对象属性的模糊性	14
1.3.3 设计对象间联系的模糊性	15
1.3.4 设计知识的模糊性	16
1.4 设计信息处理理论与技术的模糊性	17
第 2 章 模糊理论与技术基础	19
2.1 模糊集合论	19
2.1.1 普通集合与模糊集合的基本概念	19
2.1.2 模糊集合的基本运算	24
2.1.3 截集与分解定理	26
2.1.4 模糊集的模糊性与可能性	29
2.2 模糊模式识别与聚类分析	39
2.2.1 模式识别方法	39
2.2.2 聚类分析方法	42

2.3 模糊综合评价	45
2.3.1 模糊综合评价的基本概念	45
2.3.2 模糊综合评价的基本步骤	47
第3章 异构实例分类模型	54
3.1 引言	54
3.2 向量在子空间上的投影的概念	55
3.3 实例的表达	60
3.4 子空间法实例分类策略	63
3.5 相似实例检索的一般步骤	66
3.5.1 子空间法实例分类步骤	66
3.5.2 相似实例的匹配	67
第4章 基于模糊语义距离的相似实例检索模型	69
4.1 引言	69
4.2 基本定义	70
4.2.1 模糊数及语义距离	70
4.2.2 模糊相似优先比	72
4.3 相似实例检索模型	76
4.3.1 实例的描述	76
4.3.2 数量型属性之间相似程度描述	77
4.3.3 定性属性之间相似程度描述	78
4.3.4 数量型属性模糊相似优先比矩阵构造	79
4.3.5 求新问题与各实例就数量型属性而言的相似	81
程度序列	
4.3.6 求新问题与各实例就定性属性而言的相似程	81
度序列	
4.3.7 求新问题与各实例相似程度序	82

4.3.8 相似实例检索的具体步骤	83
4.4 方法分析	85
第 5 章 基于模糊集重心的模糊综合评价理论和技术	86
5.1 引言	86
5.2 传统的模糊决策方法的不足	87
5.3 基于重心的决策理论	89
5.3.1 基本定义	89
5.3.2 方案评测信息	91
5.3.3 重心评价法	94
5.3.4 重心排序法	99
5.3.5 方法分析	101
5.4 重心相等的情形	102
第 6 章 基于模糊重心矩的模糊综合评价理论和技术	103
6.1 引言	103
6.2 基本定义	103
6.3 模糊重心矩方案评价与排序方法	104
6.3.1 提出本理论的背景	104
6.3.2 基于模糊重心矩的排序理论	105
6.4 基于模糊集重心的方案评价与排序步骤	111
第 7 章 智能化模糊设计信息处理的理论与技术	113
7.1 引言	113
7.2 模糊知识表达	113
7.2.1 面向对象技术概述	113
7.2.2 面向对象的确定型知识表达	116
7.2.3 面向对象的模糊知识表达	118
7.3 模糊推理理论与技术	125

7.3.1 经典模糊逻辑及相关定义	126
7.3.2 加权模糊逻辑及相关定义	128
7.3.3 狭义模糊推理及其不足	131
7.3.4 加权模糊推理	132
7.3.5 加权模糊规则推理机工作原理	133
7.4 方案评价与多方案排序	144
7.4.1 方案评价理论与技术	144
7.4.2 多方案排序理论与技术	146
7.5 智能化工程方案设计支持系统	146
7.5.1 决策支持系统	146
7.5.2 智能决策支持系统	148
7.5.3 智能化工程方案设计支持系统	150
第8章 工程方案设计系统建造技术与应用实例	154
8.1 工程方案设计系统的建造技术	154
8.2 应用实例之一——机构运动方案设计系统	159
8.2.1 机构运动综合的数值比较法	160
8.2.2 基于实例推理的机构运动方案产生	162
8.2.3 机构运动方案设计系统总体构成	165
8.2.4 机构运动方案设计应用示例	169
8.3 应用实例之二——重型数控立车设计方案评价系统	171
8.3.1 机床模块化设计与制造系统简介	171
8.3.2 机床设计方案评价指标体系的设置	173
8.3.3 机床设计方案评价知识的获取	176
8.3.4 智能化机床设计方案评价系统设计	177
8.3.5 机床设计方案评价示例	179
8.3.6 重型数控立车评价系统特点	182

8.4 应用实例之三——水电机组方案设计系统.....	183
8.4.1 水电机组方案设计系统概述	183
8.4.2 水轮机方案设计系统总体方案	184
8.4.3 水轮机方案设计系统功能模型.....	200
8.4.4 水轮机方案设计系统信息模型.....	202
8.4.5 水轮发电机方案设计系统简介.....	204
8.4.6 水电机组方案设计系统体系结构	205
8.4.7 水电机组方案设计系统应用示例	209
8.5 应用实例之四——面向可加工性判断的设计系统.....	210
8.5.1 DFM 设计系统简介	210
8.5.2 DFM 设计系统功能模型	212
8.5.3 DFM 设计系统的数据流	214
8.5.4 DFM 设计系统体系结构	215
8.5.5 DFM 设计系统中漫游的实现	216
8.5.6 DFM 设计系统中人工智能的应用.....	222
8.5.7 DFM 设计系统应用示例	222
8.6 应用实例之五——合成集团军指挥专家系统.....	224
8.6.1 指挥专家系统概述	225
8.6.2 指挥专家系统知识库的组织及维护	227
8.6.3 指挥方案的评价	240
8.6.4 指挥专家系统总体结构	241
8.6.5 指挥专家系统运行环境.....	243
8.6.6 指挥专家系统的特点	243
参考文献.....	245

第 1 章 工程方案设计 中的模糊性

1.1 工程方案设计的一般过程

1.1.1 决策及决策过程

决策是一种技艺，既有科学所在，也包含美妙的艺术。决策正确与否，后果大相径庭。在不同的领域，决策的具体含义并不一样，如在工程设计领域，设计人员必须利用所获得的工程数据，根据设计理论和设计经验提出多个设计方案，并从中选出最为满意的设计方案，所以，设计的过程就是决策的过程；又如在军事指挥中，指挥员必须根据敌我双方的态势和指挥规则提出多个决心方案，并从中选出最优的决心方案。由此可见，决策就是对未来实践的方向、目标、原则以及坚持方向、贯彻原则、达到目标的方法与手段所作的决定。决策者就是决策系统主观能力的体现者，如工程设计系统中的设计人员就是决策者。决策者和决策对象在一定条件下合二为一，构成一个特殊的矛盾对立统一体，这个矛盾对立统一体就称为决策系统。这个对立统一体不断运动、变化和发展，直至得到决策结果的全过程，称为决策过程。决策过程中所得到的行动方针、原则、方法，称为决策结果，在这一过程中，决策者的活动称为决策活动。决策信息分为内部信息和外部信息，内部信息决定了系统的功能，即决定系统的运动、变化、发展的根据，外部信息则是决策系统运动、变化、发展的条件，这两种信息缺一不可。决策理论和决策方法是指决策者为了

获得正确的决策，对决策信息进行分析、综合、推理所采用的理论和方法。信息的可靠性是决策的前提，有了正确的前提不等于有了正确的结论，而决策者为了获得、传输与加工正确可靠的信息，还必须使用正确的科学方法。根据上面的分析可知，决策者、决策对象、决策信息、决策理论与方法、决策结果即构成了决策

$$D=(M, O, I, TM, DR)$$

其中 M——决策者；

O——决策对象；

I——决策信息；

TM——决策方法；

DR——决策结果。

在决策过程中，决策者不断地与决策对象之间发生信息交流，最后根据输入的外界信息产生决策结果。图 1-1 所示是决策者与决策对象之间的联系。如果把决策者和决策对象组成的决策系统比作决策转换器 R，决策问题还可以比作转换问题，转换器 R 的功能就是根据输入的决策信息 A 输出决策。图 1-2 所示是决策转换器，它可以理解成输入与输出之间的一个关系矩阵，A 表示输入信息，此时，输出为

$$D=A*R$$

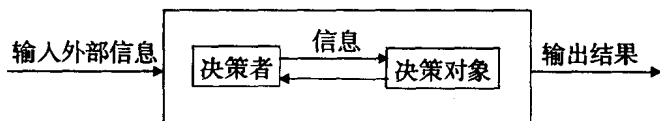


图 1-1 决策者与决策对象间的关系

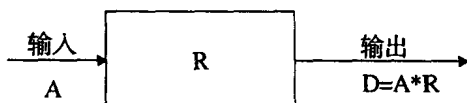


图 1-2 决策转换器

决策科学的先驱西蒙(H.A.Simon)将决策过程划分成四个阶段：情报活动、设计活动、抉择活动和实施活动。决策者先从决策系统中提取与决策有关的信息，然后利用自身的知识对获取的信息进行处理并产生若干个待选择的方案，再对待选方案进行评价，得到最满意的行动方案，并通过方案实施验证方案的合理性和对进一步决策提供反馈意见。图 1-3 所示是决策的一般过程。

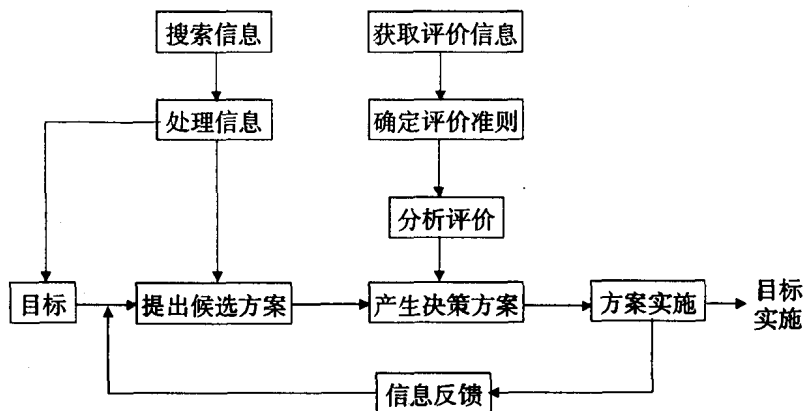


图 1-3 决策的一般过程

由此可见，决策信息及决策信息的处理贯穿于决策的全过程。决策信息又分为确定型决策信息和不确定型决策信息两大类。确定型决策信息的处理原理较为简单，而与此相比，不确定型决策信息的处理就显得复杂得多了。不确定型决策信息又分为随机决策信息和模糊决策信息。随机决策信息是由于对事物因果规律掌握不够，也就是对事物发生的条件无法严格控制，以至于一些偶然因素使试验结果产生了不确定性，但事物本身却是有明确含义的信息。而模糊性是指边界不清楚，即在质上没有明确的含义，在量上没有明确的界限，是事物的差异之间存在着中间过程的结果。在实际决策过程中，存在着大量的模糊决策信息，因而研究模糊决策信息的处理理论和技术有着十分重要的实际意义。

1.1.2 工程方案设计的一般过程

1. 工程设计的四个阶段

在产品的设计过程中，设计人员根据用户给出的对产品的指标要求，分析定义设计问题，从技术上、经济上和研究周期等方面论证各种可能的研究技术途径和关键技术，给出初步方案建议，综合出所设计的方案，并对初步方案具体化。一般地说，工程设计分为需求分析、方案设计、技术设计和施工设计四个阶段。

需求分析：需求分析是产品设计的第一步，它是在市场预测、可行性分析的基础上，根据用户要求，确定设计参数及约束条件，最后给出详细的设计要求表，作为设计、评价、决策的依据。未经深入需求分析的产品设计容易陷入盲目性。这点在市场经济条件下显得尤其重要。

方案设计：产品方案的设计就是在需求分析的基础上，进行产品功能原理的设计。设计人员在方案设计阶段采用各种方法通过创新构思、搜索探求，从多个方案中经过排序优选，取得尽可能优的原理方案。方案设计是产品设计的关键一步。据统计，产品最终价值的 70%~80%是在方案设计阶段确定的。同时，方案设计是一个典型的知识密集型劳动，要取得优良的设计方案，设计师必须具有丰富的设计经验和设计知识，掌握众多的设计实例。设计知识、设计经验及设计实例的处理和利用是方案设计阶段的重要特征。

技术设计：技术设计就是将功能原理方案具体化为机器及零部件的合理结构，这阶段的主要工作包括总体设计、结构设计、用户化设计和模型试验等。

施工设计：施工设计就是在前面三个阶段的基础上，进行零件工作图、部件装配图的设计，它的主要结果是完成生产图纸、编制设计说明书、编制工艺文件和使用说明书等。

2. 方案设计的五个步骤

由上分析可知，方案设计是产品设计的重要阶段。从本质上

讲，方案设计的过程就是一个决策的过程，它属于概念设计的范畴。产品的绝大多数技术经济指标都是在方案设计阶段确定的。如图 1-4 所示，产品的方案设计一般包括设计信息获取、问题识别、形成设计方案、选择设计方案和输出设计方案几个步骤。

信息获取：信息获取就是在市场调查、需求分析的基础上，获取产品设计的原始数据和设计约束。

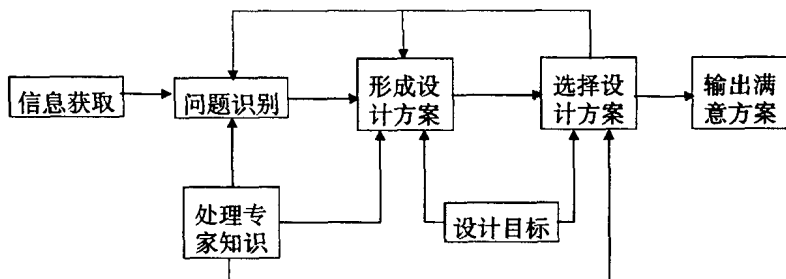


图 1-4 工程方案设计的几个步骤

问题识别：问题识别就是对所获取的原始数据和设计约束进行深入地分析，明确问题类型，确定设计目标和产品的总体功能，并进行功能分解，得到一系列的功能元。所谓功能是指对输入和输出的变换所作的抽象描述。例如，水轮发电机的功能是把机械能转化成电能。问题的识别是方案设计过程中的一个重要步骤。

形成设计方案：设计方案是指产品的原理方案。方案的设计是从功能元的求解开始的。功能元的求解就是获取实现功能元的具体方案。功能元求解的结果是获取多组与每个功能元对应的分系统方案，每一组方案的组合就构成了一个产品设计方案。所有产品设计方案组合在一起就组成了产品设计方案集合。因而产品方案设计是一个多目标、多层次、多方案的设计问题，是一个复杂的决策问题。它是基于问题的识别和专家的设计知识、设计经验和设计实例的创造性过程。

选择设计方案：由于产品方案设计是个多目标、多方案设计