

智能设计与 不确定信息处理

李玲玲 李志刚 著

Intelligent Design and
Uncertain Information Processing



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

智能设计与不确定 信息处理

李玲玲 李志刚 著

机械工业出版社

本书旨在进行产品智能设计中的知识处理和不确定性信息处理方法的研究, 试图探索出一条对大多数机电产品的智能设计都具有一定适用性的途径。本书讨论了与现代产品设计理论有密切关联性的产品设计过程知识建模方法, 提出了新的设计过程模型和设计对象模型, 并且综合采用模糊理论、粗糙集理论、D-S 证据理论、人工神经网络、遗传算法、聚类分析、模式识别等理论与方法讨论了产品的设计、优化、评估、决策方法。同时以低压电器产品及其子类——继电器产品作为具体对象, 验证了这些方法的合理性和有效性。

图书在版编目 (CIP) 数据

智能设计与不确定信息处理/李玲玲, 李志刚著. —北京: 机械工业出版社, 2011. 4

ISBN 978-7-111-33517-7

I. ①智… II. ①李…②李… III. ①智能设计-研究 IV. ①TB21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 027135 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 于苏华 责任编辑: 于苏华 版式设计: 霍永明

责任校对: 樊钟英 封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2011 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 14.5 印张 · 289 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-33517-7

定价: 39.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

在科学技术日新月异的今天，产品的更新换代愈加频繁。在高水平生活质量的需求下，高质量、高品质的产品备受青睐，促使人们不断地追求高标准的产品设计。激烈竞争的国际环境下，古老的中华民族必须抓住机遇，迎接挑战。仅仅做产品制造业的加工厂不是我们民族最终的出路，创新性的产品设计才是一个国家科技力量的体现，所以对于产品设计有必要进行深入研究，并推陈出新，逐步走向国际先进。

产品设计是一个“把关于制成品的需求的信息转换为关于产品的知识的过程”。传统设计是在大量经验数据、图表、公式的基础上采用复制、类比方法的经验性设计，而现代设计则是传统设计的继承、延伸和发展，它将传统设计中的经验、类比方法提高到逻辑的、理性的、系统的层面，突出了人的认知能力、智能活动能力和创新性的逻辑推理和判断决策能力。随着电子、信息等高新技术的发展和市场需求多样化，现代产品设计技术正向着智能化、集成化、虚拟化、网络化、全球化的方向发展，智能设计、并行设计、绿色产品设计已成为现代产品设计技术最新进展中具有代表性的三个方面。其中，智能设计是本书关注的主要内容。

从知识处理的角度看，智能设计可以概括为知识的获取、表达、组织和利用；从系统开发的角度看，智能设计包括知识模型的建立和计算机对知识模型的使用。本书主要对智能设计知识建模（在人工智能领域属于知识表示）、知识的使用和自动获取（在人工智能领域分别称为推理和机器自学习）、产品的优化设计以及综合评估方法进行了研究。其中很多内容是以不精确逻辑为基础的，旨在使由此而构建起来的智能设计系统即使在设计信息不完整、不精确的情况下也能展开产品的设计进程，并得到近乎合理的结论。

本书作者长期致力于产品设计中的知识处理和不确定性信息处理方法的研究，试图探索出一条对大多数机电产品的智能设计都具有一定适用性的途径。为此，本书不仅讨论了与现代产品设计理论有密切关联性的产品设计过程知识建模方法，并提出了新的设计过程模型和设计对象模型，而且综合采用模糊理论、粗糙集理论、D-S证据理论、人工神经网络、遗传算法、聚类分析、模式识别等理论与方法讨论了产品的设计、优化、评估、决策方法。同时，选择了低压电器产品及其子类——继电器产品作为具体对象，用以验证有关方法的合理性和有效性。为了让更多的产品设计人员了解、关注智能设计技术，也为了和同行专家交流、探讨智能设计技术，特将作者关于产品智能设计的一点心得著写成书。其主要内容如下：

1. 在知识表示方面, 主要讨论了产品智能设计知识的建模方法。针对设计过程知识和设计对象知识, 分别提出了基于设计模式的设计模型 (Design Mode-Oriented Model, DMOM) 以及与 DMOM 相适应的三种设计对象模型 (包括产品的功能模型、参数化模型和实例模型), 并给出了这三种设计对象模型的信息结构, 从而为智能设计系统的开发奠定了基础。

2. 在知识利用方面, 提出了展开产品设计过程的三种模式 (包括产品设计的功能模式、参数化模式和实例模式) 以及基于设计模式的系统推理方法和控制策略, 讨论了在产品概念设计阶段进行选型设计的方法以及不精确逻辑下的多种推理算法。概括地说, 该项内容研究的是智能设计知识模型与领域知识的使用方法。在设计问题求解过程中, 采用了集成化的系统推理方法。这种集成从模型使用的角度看, 是基于功能模型的推理、基于参数化模型的推理以及基于实例模型的推理的集成; 从推理方法的角度看, 是基于模型的推理、基于规则的推理以及基于实例的推理方法的集成。

3. 鉴于在产品设计领域中模糊不确定性的存在最为普遍, 还提出了一种广义贴近度算法, 使产品属性值无论是普通实数还是实数区间或者模糊数都能在统一模式下得以处理。

4. 在知识的自动获取方面, 围绕着产品模型的建立与使用, 讨论了从产品实例中提取领域知识的方法。包括产品参数化模型中的属性集的提取、属性权重的分配、某一类产品典型特征值的获取等。

5. 优化、评估与决策等作为产品设计中不可或缺的环节, 也在本书中进行了讨论。对此, 设计了一种可用于产品优化设计的混合遗传算法, 给出了可对产品及其设计方案进行综合评估的几种方法以及基于证据理论进行决策的方法。

6. 在不确定信息处理方面, 重点讨论了模糊不确定性的处理方法, 同时也讨论了多种不确定性的综合处理方法, 这些不确定性的类型包括模糊性、随机性、由于信息本身不被完全信任而引起的不完全可靠性、由于信息未被完全掌握而引起的不完备性等。

本书由李玲玲教授和李志刚教授合著, 李玲玲教授撰写了第1、3、5、7、9、10、12章, 李志刚教授撰写了第2、4、6、8、11章。河北工业大学赵全明教授以及朱芬芬、武猛、韩俊杰、赵春涛、刘丽新、马立国等硕士研究生为本书的图表和文字整理做了大量的工作, 在此表示衷心的感谢!

本书中, 与产品智能设计知识建模和系统推理有关的内容集成了河北省自然科学基金资助项目“电器设计中的人工智能技术研究 (602069)”、“低压电器产品智能化设计及模糊可靠性度量方法研究 (F2007000115)”、“不精确逻辑下面向非常规设计的电器设计知识处理方法研究 (F2010000151)”, 天津市自然科学基金资助项目“基于虚拟制造的电器设计专家系统研究 (023603111)”以及河北省博士基

金资助项目“基于现代设计理论的电器产品智能设计技术研究(05547003D-3)”等一系列项目长达10余年的研究成果;与不确定信息处理有关的内容则借鉴了国家自然科学基金资助项目“可靠性度量中的不确定性信息处理方法研究(60771069)”、中国博士后科学基金资助项目“非概率可靠性度量指标与度量方法研究(20100470778)”和河北省高等学校科学技术研究重点项目“电器产品的非概率可靠性分析方法研究(ZD2010119)”的研究成果。本书的出版则得到了河北工业大学“河北省电磁场与电器可靠性省部共建重点实验室”以及上述各项科研基金的大力支持,在此一并诚致谢意。

尽管作者始终以严谨、认真的态度对待上述科研项目的研究和本书的撰写,但毕竟水平有限,且很多研究工作都属于探索性质,因此书中难免存在不足乃至错误之处,敬请广大读者批评指正!

作 者

目 录

前言

第1章 绪论 1

1.1 现代产品设计技术概述 1

1.1.1 设计的本质与产品设计理论的发展 1

1.1.2 现代产品设计方法及其核心内容 3

1.1.3 产品设计的分类 4

1.2 产品智能设计技术 6

1.2.1 人工智能与专家系统 6

1.2.2 机器智能的实现途径 7

1.2.3 智能设计与知识处理 9

1.2.4 智能设计技术的发展 14

1.2.5 智能设计面临的困难 16

1.3 产品设计中的不确定性 16

1.4 本书讨论的主要问题 18

第2章 产品设计知识的分类与基本的知识表示方法 21

2.1 知识分类 21

2.2 基本的知识表示方法 21

2.2.1 语义网络表示法 22

2.2.2 框架表示法 24

2.2.3 产生式表示法 26

2.2.4 过程表示法 28

2.2.5 面向对象表示法 29

2.3 广义知识库系统 31

第3章 产品智能设计知识的建模 34

3.1 产品设计过程知识模型 34

3.1.1 已有的几种产品设计过程知识模型 35

3.1.2 基于设计模式的设计

模型 37

3.2 功能模式下的产品设计对象

模型 39

3.2.1 产品的三种设计模式 39

3.2.2 功能模型的信息组成 40

3.2.3 功能模型的BNF定义 41

3.2.4 继电器电磁系统功能模型的BNF描述 43

3.2.5 功能模型的特点及其在智能设计系统中的组织形式 44

3.3 参数化模式下的产品设计对象

模型 47

3.3.1 产品设计在参数化模式下所面临的问题 47

3.3.2 参数化模型的信息组成 48

3.3.3 参数化模型的BNF定义 51

3.3.4 一种设计问题求解策略和机器学习方法 53

3.3.5 参数化模式下特征模型的作用 56

3.4 实例模式下的产品设计对象

模型 58

3.4.1 实例和实例模型的信息组成 58

3.4.2 实例的数据结构示例 59

3.5 功能模型、参数化模型和实例

模型之间的关系 61

第4章 设计对象的属性集提取与属性值获取 62

4.1 基于粗糙集理论知识约简的产品

属性层次划分 62

4.1.1 树的基本概念 63

4.1.2 低压电器产品的分类 64

4.1.3 产品属性层次划分的 目的	65	意义	122
4.1.4 产品属性层次划分的 方法	67	6.5 广义贴适度算法的应用	125
4.1.5 关于产品属性层次划分的 几点说明	73	第7章 产品的选型设计与概念 设计	127
4.2 产品属性的权重分配	73	7.1 概念设计与选型设计的定义	127
4.2.1 属性权重的类间标准差 分配法	74	7.2 产品选型设计的基本思想	128
4.2.2 显性权重的概念	75	7.2.1 产品选型设计方法简述	128
4.2.3 隐性权重的概念	78	7.2.2 选型设计的数学模型	130
4.2.4 产品属性的综合定权法	79	7.3 基于模式识别原理的产品选型 设计	131
4.3 产品标准模型的建模	81	7.3.1 模糊不确定性设计信息的 处理	132
4.3.1 基于 ISODATA 聚类法的 标准模型建模方法	82	7.3.2 模糊相似度的定义	133
4.3.2 标准模型库的构建方法	88	7.3.3 基于模式识别原理的产品 选型设计方法	134
第5章 产品设计中的知识利用	89	7.3.4 模糊识别法在产品选型设计中 的应用	139
5.1 设计要求的分类和有关说明	89	7.4 基于实例推理的选型设计	139
5.2 基于设计模式的元级推理和 目标级推理	90	7.4.1 CBR 方法简述	139
5.3 基于设计模式的推理策略	91	7.4.2 实例的模糊匹配方法	140
5.3.1 基于功能模型的推理	91	7.4.3 基于 CBR 的产品选型设计应用 实例	142
5.3.2 基于参数化模型的推理	97	7.5 选型设计引导下的概念设计	144
5.3.3 基于实例模型的推理	100	第8章 基于规则的推理与不确 定性的传播	147
5.4 基于设计模式的设计任务规划与 控制	106	8.1 基于规则的推理与规则匹配	147
5.4.1 设计任务规划	107	8.1.1 产生式规则的表达式	147
5.4.2 设计任务控制	111	8.1.2 基于 D-S 证据理论的模糊 规则匹配方法	149
第6章 模糊贴适度的有关 算法	112	8.1.3 模糊规则匹配方法的应用 实例	151
6.1 问题的提出	112	8.2 基于规则的推理中不确定性的 传播	152
6.2 证据理论简介	115	8.2.1 模糊 RBR 中的不确 定性	152
6.3 基于证据理论的广义贴适度 算法	119	8.2.2 复杂 RBR 模型及不确定性 的传播	155
6.3.1 广义贴适度算法的定义	119	8.2.3 不精确逻辑下的 RBR 模型	
6.3.2 算法中几种特殊情况的 处理	121		
6.4 广义贴适度算法的特点和			

及其应用	159	10.4.2 模糊评语子集隶属函数的 建立	197
第9章 产品的优化设计	163	10.4.3 基于 D-S 证据理论的综合 评估方法	200
9.1 优化问题及其求解方法概述	163	10.5 产品及其设计方案的模糊综合 评估	202
9.2 混合遗传算法的设计与无约束 优化问题的求解	165	10.5.1 基于模糊识别原理的综合 评估方法	202
9.2.1 混合遗传算法设计	166	10.5.2 基于模糊识别原理的评估 方法应用实例	203
9.2.2 混合遗传算法的基本 结构	170	10.5.3 整批产品的模糊综合 评估	204
9.2.3 无约束优化问题求解实例 仿真	171	10.6 关于综合评估问题的几项 说明	205
9.3 约束优化问题的求解与产品的 优化设计	174	第11章 决策过程中不确定性 信息的综合处理	207
9.3.1 惩罚函数的构造方法	174	11.1 产品设计中的各种不确定性 信息	207
9.3.2 直流拍合式继电器电磁系统 的体积优化	175	11.2 对不完备性引起的不确定性 信息的处理	208
第10章 产品设计方案的综合 评估	180	11.3 各种不确定性设计信息的综合 处理	208
10.1 多目标多层次综合评估指标 体系	180	11.4 基于证据理论的决策方法应用 实例	213
10.2 多目标多层次模糊综合评判 模型	182	第12章 人工神经网络在产品 设计中的应用	215
10.2.1 模糊综合评判的数学模型 和评判过程	182	12.1 用于分类问题的人工神经网络 结构	215
10.2.2 模糊综合评判中的几个 关键问题	184	12.2 BP 神经网络的学习算法	217
10.3 模糊聚类分析方法及其 改进	188	12.3 基于人工神经网络的产品选型 设计方法	219
10.3.1 基于等价关系的模糊聚类 分析法	189	12.4 基于人工神经网络的模糊综合 评估方法	220
10.3.2 模糊 ISODATA 聚类 方法	193	参考文献	222
10.3.3 关于模糊聚类分析的 几项说明	196		
10.4 基于 D-S 证据理论的综合 评估	197		
10.4.1 标准模型的建立	197		

第1章 绪 论

1.1 现代产品设计技术概述

随着现代科学技术的快速发展和人们生活水平的不断提高，人们对产品设计提出了越来越高的要求，这不仅体现在产品的质量 and 性能方面，而且还体现在产品更新换代的速度上。如何在短时间内设计出满足市场需求并且性能好、可靠性高、综合品质佳的产品，是产品设计技术面临的重大课题。因此，对先进的产品设计技术进行研究，不仅具有重要的理论意义，而且将带来巨大的社会、经济效益。

1.1.1 设计的本质与产品设计理论的发展

所谓设计，是指人类为了满足某种需求而进行的创造性活动，它是人类改造自然的基本活动之一，是一种复杂的思维过程和实践过程。产品设计是知识、经验、能力等人的因素与工具、装备等物化因素的集成和统一。从信息转换的角度看，产品设计是一个“把关于制成品（Artifact）的需求和需要的信息转换为关于产品的知识的过程”。

产品设计的目的是将预定的目标经过一系列分析、规划与决策，形成一定的实现方案并通过生产、加工、制造使其成为产品。科学技术的不断进步，特别是电子计算机的出现，使得以往认为十分复杂甚至是不可能完成的海量计算成为现实。20世纪60年代末期，在产品设计领域相继出现了计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD）、优化设计、模块化设计、有限元分析等一系列新技术和新方法；随后，作为计算机科学一大分支的人工智能（Artificial Intelligent, AI）被应用到设计领域，由此衍生了智能设计这一新兴学科。人工智能的提出和发展使人们在掌握事物的客观规律、掌握人的思维规律方面有了全新的突破，这种突破不仅是在技术层面上而且是在哲学层面上推动了设计方法学和创造方法学的长足发展。各种设计方法、新兴技术以及先进的设计理念和制造理念相辅相成，从根本上改变了以往单纯靠人的脑力劳动来决策事物的模式，使得设计工作发生了质的飞跃。

设计的本质是创造和革新，这一富有创新性的活动乃是人类智能的高度体现。作为现代生产的关键环节，产品设计在产品的整个生命周期中占据着举足轻重的位置，并从根本上决定着产品的内在和外在品质，包括产品的技术性能指标以及伴随着它的生产、使用所带来的经济效益和社会效益。据统计，产品设计阶段实际投入

的费用仅占产品总成本的 7% ~ 20%，但它对后续诸多环节的影响，却决定了产品生命全周期总成本的 70% 以上；而在运用 CAD/CAM 技术的工程阶段，只决定产品成本的 20%；生产过程控制和规划阶段对产品成本的影响则更少，仅占 10% 左右。可见，产品设计是决定产品品质最重要的环节。

但是，另一方面，产品设计过程却决定了产品从研制到投入市场所需时间的 70%。信息时代的到来，使产品的生命周期越来越短，并呈现出多样化、个性化、客户化的特点，这就对制造企业快速开发市场所需要的新产品的能力提出了挑战。产品的制造基于设计，其开发过程和设计结果将对产品投入市场后的经济效益产生至关重要的影响。21 世纪经济竞争的核心就是以知识为基础的新产品的竞争。对制造业而言，每个企业都面临着持续多变和不可完全预测的全球化市场竞争。因此，如何在先进的设计模式和设计理念引导下充分利用信息技术、计算机技术、CAD 技术、人工智能技术等先进技术提高产品的设计水平，以降低开发成本，缩短开发周期，加快对市场的响应，是制造业亟待解决的重大课题，是企业增强其技术创新能力、产品开发能力、市场竞争能力的有力措施。

传统的产品设计，一般都是以串行的工作模式和顺序的任务方式进行的。20 世纪 70 年代，德国学者提出将设计过程分为明确任务、概念设计、具体化设计和详细设计四个阶段，这是典型的串行式产品设计与开发。传统设计是在大量经验数据、图表、公式的基础上采用复制、类比方法的经验性设计方法；而现代设计是传统设计的继承、延伸和发展，是将传统设计中的经验、类比方法提升为逻辑的、理性的、系统的层面的设计方法，它突出了人的认识能力、智能活动能力和创新性的逻辑推理和判断决策能力。

对设计的本质及产品设计过程、方法等进行研究，目的在于揭示人类设计师的思维规律及特征，从而为设计系统模拟人工设计奠定理论基础。从 20 世纪 60 年代开始，一些工业发达国家就已经着手进行相关内容的研究，先后产生了许多学派。比较著名的有：①德国学派的系统化产品设计理论；②日本学派的产品设计过程统计理论；③前苏联学派的面向创新设计的问题求解（TRIZ）理论，等等。时至 20 世纪 90 年代中期，一些新的理论被提出来，例如：德国学者 Grabowski H. 的通用设计理论（Universal Design Theory）、日本学者 Tomiyama T. 的一般设计理论（General Design Theory）、美国学者 Suh N. P. 的公理化设计理论（Axiomatic Design Theory）。

美国著名的设计理论与方法学学者 Dixon 等在对当时的设计理论进行总结的基础上，于 1989 年提出了产品设计的四种模型，即描述模型、认知模型、处方模型和可计算模型。描述模型和认知模型都是基于对现实世界设计活动过程与组织的细致观察而建立起来的设计过程模型，前者用以表示设计过程不断迭代完善的基本规律，后者用以描述人类设计专家的行为特征和对设计活动的组织特征，如 Takeda

等提出的认知设计过程模型；处方模型表达了设计活动过程在计算机系统内部应该怎样被组织和执行；可计算模型是可以被智能系统直接利用的知识模型，它直接导向设计系统的构建与开发。

当前各种设计理论对于设计过程的描述形式可归纳为：①问题求解的过程；②约束求解过程；③知识表达、推理和学习的智能过程；④不确定性下的群决策过程；⑤产品概念设计与创新设计的过程；⑥并行与协作过程；⑦离散事件系统的演化过程；⑧设计需求与设计解的基因型组的进化过程；⑨基于先进制造系统自组织运转及决策模式的自组织过程。

我国对产品设计领域中的新兴技术的研究始于20世纪80年代。从目前我国的研究现状来看，不以创新和革新为宗旨的常规设计仍占主导，而国外一些发达国家早已进入了现代产品设计的时代，并已从固有的设计模式中走出来，逐渐形成了一个支持新观念、鼓励新思想、创造新功能的产品设计模式。与制造业发达的某些西方国家相比，我国在应用现代设计理论进行新产品的设计和开发方面仍然存在不小的差距。

设计技术的发展始终追随着设计理论的发展，且从根本上取决于对设计及其过程的本质性认识。尽管各种设计理论目前正得到逐步深入的研究，但仍未形成能够被广泛接受并有效指导设计实践的产品设计理论体系。正如美国自然科学基金委员会于1996年召开的“全美关于产品设计理论与方法学研究的研讨会”大会报告中指出的那样：产品设计理论的研究正处于一个“预理论（Pre-theory）”阶段。

1.1.2 现代产品设计方法及其核心内容

产品设计是人类文明的标志和智慧的体现。自从有了人类历史，就有了人类为了满足某种需求，或为了改善、超越简单的生存条件而进行的产品设计活动。随着工业革命的到来，近代数学、物理学研究成果逐渐被人们所接受并掌握，特别是20世纪中叶以来电子计算机的发明、普及以及各种新方法、新理论（比如信息论、系统论）的引入，促使工业自动化水平不断提高，各种现代设计方法相继涌现，从而使现代产品设计逐渐发展成为一门以设计理论和方法学为指导、以设计自动化为目的、以知识为依托、以当代科技成果为支撑的产品设计方法。

现代产品设计不仅把产品设计的一般规律和一般途径作为研究对象，并建立系统的理论体系，而且把如何在计算机及其所构建的网络上实现这些先进的设计思想的相关技术纳入研究范畴。由于设计理论、设计技术还处于不断发展与深化的过程中，所以现代设计的确切内容目前还难以确定，但概括地说，现代设计包括智能设计、并行设计、协同设计、集成设计、绿色设计、概念设计、创新设计等。作为先进制造模式的虚拟制造、敏捷制造等究其实质乃是构建于并行设计、协同设计、集成设计等先进的设计模式基础之上。

现代设计方法的核心内容大致可分为以下几个方面：

1) 基于人工智能和知识工程、利用计算机进行知识自动处理的产品设计智能化。

2) 支持团队工作模式、借助计算机网络实现产品异地研发的设计协同化。

3) 体现“信息集成-过程集成-企业集成”的发展特点的产品设计集成化。

4) 在设计阶段就考虑产品全生命周期后续阶段的诸多因素（包括工艺、制造、装配、运输、维修、回收等），或将后续阶段的相关活动提前到设计阶段与产品设计同步进行的设计并行化（例如在产品设计初期而不是等到设计工作结束后，就开始对产品设计方案进行全面评估，并且随着设计进程的延续，不断利用新的设计输出信息进行评估，并根据评估结果修改设计方案，进行再设计）。

5) 以产品全生命周期为着眼点的产品建模数字化，包括：以计算机能理解的方式给出产品生命周期全过程的数字化定义；采用广义的计算机辅助工具对产品信息进行自动数字化处理；用计算机对产品开发与生产全过程中的数字化信息进行全面的管理与控制。

6) 以减少对环境的破坏为宗旨，支持在产品设计阶段就将产品的可回收性、可分解性和可拆卸性等环境属性考虑在内的设计绿色化。

现代产品设计是面向产品生命周期全过程的创造性活动，其过程可以描述如下：分析市场需求→确认设计要求和条件→产生一系列设计构思（概念上的可能解）→技术、经济分析→设计构思的分析、评估、优选→概念设计解的确认→结构与外形的确定→产品零部件几何尺寸的确定→产品零部件材料和加工方法的确定→产品的销售、运输与售后服务→产品的回收等。“评估与优选”作为产品设计过程中一个必不可少的环节，可以在“产生设计构思”之后的任何一个步骤中穿插进行。现代产品设计的内容已不仅仅局限于对设计过程本身的考虑，而是要同时考虑产品的制造、运输、售后服务等涉及产品生命周期全过程的技术与经济的各个方面。现代设计技术是现代制造业的首要环节和重要部分。

现代产品设计是一个动态过程的观点已经得到普遍认可，知识的获取和利用是其关键。如何充分获取并利用人类设计专家的知识，模拟其在从事判断、推理、决策等智能型工作时的思维方式，探求产品的新的原理解，把创造性贯穿于设计过程的始终，从而使人工系统达到人类专家的设计水平，既是智能设计研究的核心，也是人类在这一研究领域不变的追求目标。

1.1.3 产品设计的分类

产品设计的分类依其划分标准而异。如果按照设计的时间顺序来分，产品设计可分为概念设计、详细设计和施工设计；如果按照产品设计活动中创造性的高低来分，可分为常规设计（Routine Design）、革新设计（Innovation Design）、创新设计

(Creative Design)。

常规设计是目前国内外投入使用的大多数设计系统的工作模式,它以成熟的技术结构为基础,应用常规方法达到设计目的。在这里,“常规”指的是经常性的工作,设计结果为已有的产品品种。

创新设计旨在探求独特而新颖的设计成果,“通常没有现成的设计规划,有时甚至没有类似的设计结果作为借鉴”。此类设计需要利用人类思维中的灵感(Inspiration)方可实现。目前拥有创新设计能力的智能系统尚不多见,但有关的理论研究成果却相当丰硕,这些研究广泛涉及认知心理学、设计方法学、数学与逻辑学以及计算机、人工智能、知识工程等科学。

革新设计介于常规设计与创新设计之间,是为了增加原有产品的功能或扩展其适用范围而对现有产品在性能、结构、外形等方面进行改进的设计活动。当前的许多智能设计系统或多或少都具有一定的革新能力。

基于人工智能技术开发而成的设计型专家系统(Designing-oriented Expert System)以及应用了人工智能技术的各种集成化设计系统都属于智能设计系统,这类系统的设计过程称为智能设计。按照基于知识的人工系统所采用的人工智能技术的不同,可将产品设计分为如下三类:常规设计、联想设计、进化设计。这种分类方法仅适用于智能设计系统。

常规设计是在设计属性、设计进程、设计策略已经规划好的前提下,智能系统借助推理机调用符号模型进行设计。

联想设计在这里是指利用或模拟人类的联想记忆和联想存储能力、从大量的实验数据或计算数据中获取有关设计问题的隐含知识并用以指导当前设计的一种方法,在智能设计系统中通常需要借助人造神经网络(Artificial Neural Network, ANN)来实现,而且几乎与所有的人工智能技术息息相关,是设计探索中最富挑战性的技术领域。这种利用 ANN 数值处理能力的设计方法为突破常规设计带来希望。

进化设计是采用进化计算(Evolutionary Computation, EC)进行产品设计的一类方法,即通过某种进化计算方法,例如遗传算法(Genetic Algorithms, GA)的编码规则来表示设计知识,由此将设计过程转化为种群的进化过程。在这里,种群中的每个个体都是设计问题的一个可能解。目前,人们已经把这种基于进化论观点的设计方法应用于产品的概念设计中。作为一种非常规设计(Non-routine Design)方法,进化设计通过模拟优胜劣汰的自然选择过程,使用概率搜索机制在待求问题的整个可行域内进行并行搜索,有望实现设计的创新和革新。在1996年召开的“Artificial Intelligence in Design' 96”国际会议上,悉尼大学学者 Rosenman M. A. 提出了“非常规设计的进化模型”,而后 Rosenman 及其同事 Gero J. S. 把这种进化设计方法应用到建筑设计的空间布局方案的组合创新之中。

1.2 产品智能设计技术

随着电子、信息等高新技术的发展和市场需求的多样化,现代产品设计技术正在向智能化、集成化、虚拟化、网络化、全球化的方向发展。智能设计(Intelligent Design)、并行设计(Concurrent Design)、绿色产品设计(Green Product Design)被认为是现代产品设计技术最新进展中最具有代表性的三个方面。

1.2.1 人工智能与专家系统

人工智能(AI)这一术语正式使用于1956年,其根本目的是试图利用计算机来模拟人的思维,使之从事各种智能活动。斯坦福(Stanford)大学人工智能研究中心的Nilsson教授认为:“人工智能是关于知识的科学,即怎样表示知识以及怎样获得知识并使用知识的科学”。麻省理工学院(MIT)的Winston教授认为:“人工智能是研究如何使计算机去做过去只有人才能做的智能型工作。”这些定义反映了AI的基本思想和研究内容,通常的观点认为,用计算机模拟人的智能行为就属于人工智能的范畴,AI因此被认为是计算机科学的一大分支。

早期的AI致力于对人类思维普遍模式和规律的研究,力图探索出一套万能、通用的问题求解机制,这一时期的研究以“推理”为中心,称为AI的推理期。由于超越了现实可能性,推理期的AI遭遇了巨大困难,始终停留在实验室,进展缓慢。20世纪60年代中期以后,AI由追求通用的一般研究转入特定的具体研究,AI才重新开始快速发展起来。

专家系统(Expert System, ES)是一种模拟人类专家解决领域问题的计算机程序系统,其内部含有某领域的大量知识与经验,能够运用知识进行推理、判断、决策,为该领域的复杂问题提供具有专家水平的解答。专家系统是人工智能中最活跃、最有成就的一个分支。

1965年,斯坦福大学的教授费根鲍姆(E. A. Francisbaum)本着“知识就是力量”的理念,主张将通用的解题策略与特定领域的专业知识相结合,开创了专家系统这一基于知识的AI研究新领域,并在三年后成功地研制出世界上第一个专家系统DENDRAL。AI从此走出实验室,开始解决实际问题;专家系统也因此获得了“应用AI”的美誉。随着专家系统应用领域的不断开拓,从20世纪70年代末期开始,AI又逐渐从具体研究转回一般研究,致力于从知识处理系统中抽取共性。围绕“知识”这一核心问题,费根鲍姆在1977年召开的“第五届国际人工智能联合会议”上提出了“知识工程(Knowledge Engineering, KE)”的概念。知识工程将所有与知识处理(包括知识的获取、表示、组织、管理与利用等)有关的技术与方法都作为研究内容,并形成了一个新的学科,AI的研究也自此进入“知识期”。

可以说,专家系统促进了知识工程的诞生与发展,知识工程则为专家系统提供技术支撑。正是由于二者之间的密切关系,所以现在专家系统与知识工程几乎已同义。以专家系统和知识工程为代表的 AI 技术目前已渗透到包括工程设计在内的众多应用领域。

尽管 AI 自 1956 年被正式提出以来,已经历了半个世纪的发展,并在技术实践方面取得了令人瞩目的成就,但目前仍处于缺乏基础理论指导的朦胧期。其原因在于人类的认知过程非常复杂,时至今日仍不能被人类自己所完全认识和解释。对此,业内人士曾以“任务尚在继续”来概括 AI 的现状与未来。

1.2.2 机器智能的实现途径

半个世纪以来,心理学、神经生物学、仿生学、控制论专家以及计算机专家分别从各自的研究角度出发对人类智能的模拟途径进行了探索,产生了不同的人工智能理论和技术。所谓机器智能,是指人工系统拥有的智能。通常认为机器智能的实现途径有三种:符号主义、联结主义和行为主义。

符号主义 (Symbolicism) 学派,又称心理学派 (Psychologism)、计算机学派 (Computerism),源于数理逻辑,该学派内部又有认知学派和逻辑学派之分。符号主义是一种从宏观上对人类思维活动进行功能模拟的 AI 方法,AI 的许多重要成果都是用该方法取得的,术语“人工智能”就产生于符号主义学派的提议。该学派以代表概念的符号作为基本元素,在计算机上形式化地描述和模拟人类左脑的逻辑思维活动过程,通过推理机对显式的知识库进行符号演推而实现机器智能。符号主义认为智能的基础是知识,AI 的核心问题是知识表示和知识推理的信息处理过程。

联结主义 (Connectionism) 学派,又称生理学派 (Physiologism)、仿生学派 (Bionicsism),源于仿生学。它根据生物神经系统的生理结构和工作机制来实现机器智能,认为智能的基本单元是神经元,而不是符号。基于人脑微观机理模拟的联结主义把由大量人工神经元广泛互联后组成的人工神经网络 (ANN) 作为信息和知识的载体,通过神经计算这种并行运行方式实现人类右脑的形象思维功能。ANN 的第一个数学计算模型虽然早在 1943 年即已提出,但一度几致停滞,直至 1982 年“旅行商”问题被 Hopfield ANN 模型成功地解决之后,联结主义才重新引起重视,并与日臻成熟的知识工程相结合而形成智能系统,在 AI 研究中扮演极为重要的角色。

行为主义 (Actionism) 学派,又称进化主义学派 (Evolutionism)、控制论学派 (Cyberneticsism),源于控制论,直到最近十余年才被认为是 AI 的一个新学派。该学派模拟人在控制过程中的智能活动和行为特点,提出了功能、结构、智能行为不可分割的观点以及无需知识表示和推理的智能行为观点。认为智能取决于感知而表现为行动,并能够在与周围环境的交互中逐步进化。其代表作首推麻省理工学院的

布鲁克斯 (R. A. Brooks) 研制的一个基于“感知-行为”模式、具有一定适应能力、模拟昆虫行为的六足行走机器人。行为主义对人类感知思维的模拟,为机器人的研究开创了一条新途径,是行为心理学观点在现代 AI 中的体现。

也有一些学者认为人工系统可以通过以下途径来模拟人类的智能:心理学途径、生理学途径、生物演化途径和社会学途径。心理学、生理学途径分别与上述的符号主义、联结主义相对应。

生物演化途径的研究者认为,人类的智能是从生物的演化中得到的,大自然是人类在处理各种问题时的灵感源泉。演化计算 (Evolutional Programming, EP) 正是基于这种思想发展起来的一种通用问题求解策略。按照 Bezdek 给出的定义,目前将演化计算 (EP)、人工神经网络 (ANN)、模糊逻辑 (FL)、人工生命 (Artificial Life) 以及混沌 (Chaos)、分形 (Fractal)、粗糙集 (Rough Set) 理论等通过数值计算手段实现智能的各种方法和理论都划归计算智能 (Computational Intelligence, CI) 的范畴。计算智能始而被认为是 AI 的一个重要分支,但继而从 AI 中独立出来另建学科。计算智能是一种智力方式的低层认知,它与传统 AI 的区别是认知层次从中层下降至低层。中层系统含有知识,低层系统则没有。Bezdek 认为,计算智能是基于操作者提供的数据,而传统 AI 则是基于“知识”。

社会学途径着眼于人在社会中的行为,认为人可以模拟成由许多具有智能品质的 Agent 构成的有机整体。该观点促成了当前 AI 界另一个引人注目的新课题——智能 Agent 的产生。Agent (称为智能代理或主体) 是一个复杂的、能适应动态变化的计算实体,可自动感知环境并自觉采取行动达到其目的。Internet 则为以开发群体智能为主要特征的分布式人工智能 (Distributed AI, DAI) 系统——多 Agent 系统 (Multi-agent Systems, MAS) 的深入研究提供了平台。

基于心理学的符号处理和逻辑推理的符号主义是传统的、然而至今仍是使用得最多的一种 AI 技术,但是,符号主义在知识获取和求解搜索中的局限性导致某些学者对通过这种“强 AI”方法实现机器智能的可能性产生怀疑。在这种背景下,模拟某一自然现象或过程的神经网络、演化计算等智能方法迅速崛起。然而,一些新的问题也随之产生,如网络构造问题、维数灾难问题、知识遗忘问题、解释问题、学习能力和泛化能力的提高问题、算法的鲁棒性 (Robustness) 问题等。为此,行为主义提出了无需知识表示和推理的智能。行为主义对符号主义和联结主义,尤其是对符号主义学派持强烈的否定态度,认为他们对真实世界的客观事实和复杂境遇作了虚假的、过分简化的抽象;而其他学派也对行为主义表示怀疑,认为行为主义充其量只能创造出低智能的昆虫行为。纵观 AI 的发展历程,乃是符号主义与联结主义从长期的相互论战渐渐走向相互融合的历史,行为主义则从未占据过上风。上述学派的产生、发展和争端,表明了人类认知与智能机制的复杂性,人类对自身智慧的理解尚处于一个相当粗浅的阶段。