

沈卫明 米小珍 郝琪 著

多智能体技术 在协同设计与制造中的应用

清华大学出版社

TP18/169

2008

多智能体技术 在协同设计与制造中的应用

沈卫明 米小珍 郝琪 著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地描述了多智能体技术的原理、关键技术以及在协同设计与制造中的应用实例。全书可分为四部分:第一部分(第1~2章)描述协同设计、智能设计与制造中的需求,并介绍分布式人工智能和多智能体技术;第二部分(第3~5章)讨论多协同设计与制造中的智能体关键技术,包括知识表达、学习、智能体体系结构、智能体系统体系结构、通信、合作、协调、协商、冲突解决以及语义表达与集成;第三部分(第6~7章)通过实例介绍多智能体技术在协同设计和智能制造中的应用;第四部分(第8章)介绍多智能体系统的设计方法学、标准、语言、框架与工具,以及开发基于智能体的协同设计与制造系统的通用步骤。

本书可作为人工智能领域、协同设计与制造系统领域研究人员、学者和广大硕士生、博士生的参考书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

多智能体技术在协同设计与制造中的应用 / 沈卫明,米小珍,郝琪著. —北京:清华大学出版社, 2008.5

ISBN 978-7-302-17307-6

I. 多… II. ①沈… ②米… ③郝… III. ①人工智能 ②智能分布系统 IV. TP18
TP338

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 046284 号

责任编辑:赵彤伟

责任校对:刘玉霞

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 刷 者:北京鑫丰华彩印有限公司

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:13.75 字 数:333 千字

版 次:2008 年 5 月第 1 版

印 次:2008 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:38.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:020791-01

近十几年来,智能体技术已逐步应用于并行工程、协同设计、制造企业集成、供应链管理、制造过程的计划调度以及控制等方面,并成为实现以分布式控制、自治和协作结构为特点的新一代制造系统——Holonc 制造系统(HMS)的支撑技术,因而该技术被认为是下一代计算机支持协同设计与制造系统中最有前途的技术之一。目前,智能体技术已经逐渐成熟,国内外许多大学已在计算机科学与工程系、电气与电子工程系、机械工程系和工业工程系开设了相应的研究生课程。与此同时,更多的工程技术人员和研究人员也希望学习和了解这项新技术。虽然在智能体技术及其相关领域陆续有一些书籍出版,也有很多研讨会和会议论文集,但到目前为止,系统而综合地介绍智能体技术及其相关理论与方法、多智能体系统开发与应用案例的参考书还很缺乏,特别是从并行工程中协同设计与制造系统的角度来探讨相关智能体技术的著述还不多见,而这正是我们编写本书的主要目的。

由于本书是第一本从并行工程中协同设计与制造需求出发,系统介绍智能体技术的概念、原理、关键技术及其应用的书籍,因而,本书可以作为本领域工程技术人员和研究人员的参考书,也可以作为大学相关学科研究生课程的教材或参考书。

阅读本书没有严格的章节顺序要求。建议没有工程设计和制造领域背景知识的读者首先阅读第1章,以便更好地理解下一代并行设计与制造系统的基本需求和贯穿本书的其他概念与术语,然后阅读第2章以获得分布式人工智能和智能体技术的基本知识。

第3章到第5章内容对基于智能体的协同设计与制造系统的实现非常关键,其中第4章(基于智能体的协同设计与制造系统体系结构)尤为重要。因此,建议读者在读完第1章和第2章后,先阅读第4章和第5章,然后再返回第3章,而不是按顺序阅读。具备一定领域知识和技术基础的读者则可以自由选择感兴趣的章节阅读。

第6章和第7章主要介绍应用案例,读者可以自行选择感兴趣的部分阅读。本书还为需要更多信息的读者提供了大量参考文献和网页链接。对于研究人员,若想对不同项目所采用方法进行对比分析,则可以参阅第6、7两章中的应用案例,当然也可以只选择与自己研究领域相关的案例进行研究。

本书第8章主要针对从事多智能体技术研究和开发的人员,旨在帮助他们在实现原型系统时选择适当的方法、体系结构、开发工具和编程语言。建议这类读者经常访问本书所提供的网站,以便获取最新信息以及软件或工具的最新版本。本书所提供的基于智能体的协同设计与制造系统设计方法与开发步骤主要源自作者的第一手经验,希望这些方法或设计实例能够为基于智能体的协同设计与制造系统的原型设计与实现提供借鉴作用。



CONTENTS

第 1 章 工程设计与先进制造系统	1
1.1 概述	1
1.2 工程设计	3
1.2.1 设计与设计过程	3
1.2.2 初步设计与详细设计	3
1.2.3 概念设计	4
1.2.4 创造性和创新设计	4
1.2.5 功能设计	5
1.2.6 配置设计	5
1.2.7 参数化设计	6
1.2.8 基于特征的设计	6
1.2.9 再设计和常规设计	6
1.2.10 智能设计	7
1.2.11 知识强化型设计	8
1.2.12 并行设计	8
1.3 先进制造系统	9
1.3.1 计算机集成制造系统	9
1.3.2 柔性制造系统	10
1.3.3 智能制造系统	11
1.3.4 Holonic 制造系统	13
1.4 未来的并行设计与制造系统	14
第 2 章 分布式人工智能与智能体	16
2.1 经典人工智能和分布式人工智能	16
2.2 分布式人工智能中的研究主题	17
2.3 分布式人工智能系统模型	18
2.3.1 黑板体系结构	18
2.3.2 合同网	19
2.3.3 动作体	19

2.3.4	智能体及多智能体系统	20
2.4	对象与智能体	21
2.4.1	人工智能与对象	22
2.4.2	对象与 CORBA	23
2.4.3	分布式对象	23
2.4.4	主动对象与被动对象	23
2.4.5	从对象到智能体	23
2.5	不同类型的智能体	24
2.5.1	软件智能体	24
2.5.2	移动智能体	25
2.5.3	反应智能体	25
2.5.4	认知智能体	26
2.5.5	混合智能体	26
2.5.6	界面智能体	27
2.5.7	中间智能体	27
2.6	并行设计和制造系统中的智能体	28
第3章	基于智能体的协同设计与制造系统中的知识表达、更新与共享	29
3.1	基于智能体的协同设计与制造系统中的知识表达	29
3.1.1	协同设计与制造系统中的知识及其表达	30
3.1.2	多智能体系统中的知识表达	37
3.2	基于智能体的协同设计与制造系统中的学习	41
3.2.1	单智能体学习与多智能体学习	41
3.2.2	学习动机	42
3.2.3	学习时机	43
3.2.4	学习场景或资源	43
3.2.5	学习内容	44
3.2.6	学习方法	45
3.3	多智能体系统中的语义表达与集成	47
3.3.1	什么是本体	47
3.3.2	本体与知识共享	48
3.3.3	本体的用途	49
3.3.4	本体的形式化表达和开发工具	50
3.3.5	并行设计与制造中的本体	56
第4章	基于智能体的协同设计与制造系统体系结构	58
4.1	智能体的内部体系结构	58
4.1.1	智能体应具备的基本特性	58
4.1.2	智能体的基本模块	59
4.1.3	智能体的内部体系结构分类	62

4.1.4	不同智能体体系结构的比较	68
4.1.5	其他参考文献	69
4.2	多智能体系统体系结构	70
4.2.1	智能体组织和系统体系结构	70
4.2.2	控制关系与协作关系	71
4.2.3	多智能体系统体系结构分类	73
4.2.4	不同多智能体系统体系结构的比较	79
4.2.5	其他参考文献	79
第 5 章	智能体的通信、协调与合作	82
5.1	通信	82
5.1.1	通信层次	82
5.1.2	通信模式	84
5.1.3	支持通信过程的协议和语言	85
5.1.4	Speech Act 理论	86
5.1.5	智能体的会话规则与表达	87
5.1.6	组织知识与通信	90
5.2	协调	90
5.2.1	并行设计与制造系统中的协调	91
5.2.2	多智能体系统中协调的必要性	91
5.2.3	多智能体系统中的基本协调机制	92
5.2.4	多智能体系统中的协调技术	93
5.3	合作	97
5.3.1	合作层次	97
5.3.2	合作基元	98
5.3.3	合作方法	99
5.3.4	基于智能体的设计与制造系统中的合作	100
5.3.5	通信、协调与合作的关系	101
5.4	任务分解与分配	102
5.4.1	基本概念	102
5.4.2	基于协调的任务分配	104
5.4.3	分布式任务分配	105
5.5	协商和冲突消解	107
5.5.1	协商协议	107
5.5.2	协商策略	109
5.5.3	面向冲突消解的协商	115
第 6 章	基于智能体的协同设计系统实例	116
6.1	分布式智能设计环境	116
6.1.1	项目背景	116

6.1.2	技术特点	117
6.1.3	系统实现	123
6.1.4	重要结论与分析	129
6.2	跨学科设计优化环境	130
6.2.1	项目背景	130
6.2.2	技术特点	131
6.2.3	系统实现	132
6.2.4	重要结论与分析	136
6.2.5	后续项目及进展	138
第7章	基于智能体的集成制造系统实例	140
7.1	智能车间	140
7.1.1	项目背景	141
7.1.2	技术特点	141
7.1.3	原型系统实现	147
7.1.4	重要结论与分析	150
7.2	MetaMorph I & II	151
7.2.1	项目背景	151
7.2.2	技术特点	151
7.2.3	系统实现	161
7.2.4	重要结论与分析	164
第8章	基于智能体的协同设计与制造系统的设计方法学和开发步骤	165
8.1	智能体系统开发工具、平台和方法学	165
8.1.1	智能体系统开发的标准化	165
8.1.2	智能体系统开发方法学	168
8.1.3	智能体系统开发工具与平台	172
8.2	基于智能体的协同设计与制造系统开发步骤	183
8.2.1	智能体内部体系结构的选择或开发	184
8.2.2	智能体系统体系结构的选择	184
8.2.3	信息交换标准的选择	185
8.2.4	智能体通信语言与协议的选择或开发	186
8.2.5	合作、协调和协商协议与机制的选择或开发	186
8.2.6	面向智能体的分析与设计	187
8.2.7	开发平台、工具和语言的选择	188
8.2.8	系统模拟和实现	188
8.2.9	系统测试和调试	189
参考文献		190

工程设计与先进制造系统

1.1 概 述

工程设计与制造涉及的领域和范围十分广泛。为了便于将某一研究领域的成果推广应用到其他领域,人们常常把工程设计与制造过程抽象为一系列不同的阶段,如图 1.1 所示,可以把设计过程抽象为概念设计、功能设计、初步设计和详细设计等阶段。然而,由于这种抽象的概括性太强反而很难考虑到工程设计与制造中的实际情况,因而也很难将研究成果推而广之。

实践中人们总是对需要多学科专家协作完成的大型复杂系统或复杂产品的设计与制造(或施工)更感兴趣,我们先分别介绍三个完全不同的工程设计实例:海港设计、汽车设计和工厂设计,以帮助读者理解众多设计领域之间的异同。

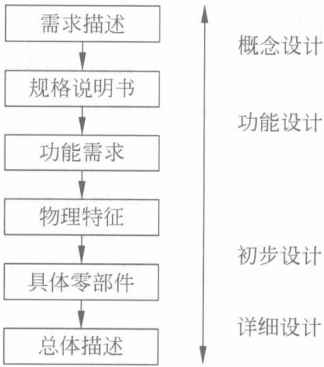


图 1.1 设计阶段的描述与划分

1. 海港设计

海港设计和施工是一个漫长的工程过程,有时甚至需要近 10 年之久才能完成。海港设计需要解决的一个基本问题是确定其所占陆地与海岸的比例,占用陆地面积大意味着需要建设昂贵的防浪堤,而占用海岸面积大则意味着需要清理大量淤泥,最终决策将在两者之间作出权衡。海港设计的第一步是几何设计,然后是防浪堤设计,这需要进行海港内水流的动力学和运动学分析计算,同时需要与许多专业人员进行研讨,包括消防人员、领航员、码头工人等。这一阶段可以定义为海港设计的初步设计阶段。由于设计初期缺少有效数据的支持,这一阶段大约需要持续两年时间,设计师通常需要研究和比较多种备选方案(有时方案数目可达几十种),计算资金预算并对方案进行排序对比。初步设计阶段结束后选择一到两个方案进入后续阶段的研究,这时需要很多实测数据来支持具体的详细设计与计算。通常,初步设计阶段需要十多名专家同时参与。Monceyron 和 Barthés(1992)提供了一个完整的海港设计实例。

2. 汽车设计

设计一种全新的混合燃料汽车(同时具备汽油引擎和电动引擎)是一个非常复杂的过程。首先需要设计原型汽车,原型汽车是批量生产制造的基础。为了使原型汽车具备优越的性能,从初步设计阶段起就需要多学科专家同时参与设计方案的制定,其中包括发动机设计师、机械设计师、电子电器设计师、动力学和运动学分析师、内装设计师以及外形设计师等。设计师之间的有效协作、设计参数之间的协调、设计变量之间的耦合等都不同程度地导致了问题的复杂性。事实上,每一家汽车制造厂都面临这一难题。

3. 工厂设计

化学工厂设计(如石化工厂设计)的基础是化学过程,它由一系列化学反应组成。在化工厂的初步设计阶段,首先需要将反应方程式转化成一系列单元操作,这些操作决定了对原材料进行的催化反应,也决定了得到最终产品前的中间化合物。初步设计阶段一般需要设计简单的生产流程图(process flow sheet)并编写相应的计算说明书,用数学证明和工程计算验证初步设计方案的有效性(如质量平衡、能量平衡和安全计算等)。然后,工程部门专家将根据生产流程图进行详细设计,绘制出所需的工程设计图纸(主要是过程和仪器装备系统图)。最后,建筑工程师根据这些工程图纸来建造工厂。

上面三个例子都包含了典型的与工程设计与制造(或施工)有关的工程活动,这些工程活动可以进一步综合概括为:工程设计与制造开始于市场部门获得的用户需求或购销合同,首先经过概念设计;然后是初步设计,初步设计的结果可能是一组规范或一个实际可操作的原型产品(如汽车、试验工厂);接下来进行的是详细设计,最后是制造、组装、试验和正式投产等。需要特别强调的是:通常制造/施工团队既不同于详细设计团队,更不同于初步设计团队。这些步骤符合图 1.2 所示的瀑布形模型。为了提高设计效率,并行工程方法将上述串行进行的设计阶段加以重叠,以缩短产品开发周期。但是如果没有有效的协作机制,并行工程方法实施起来将会非常困难。

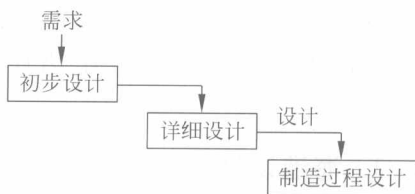


图 1.2 瀑布形模型设计步骤

在实践中工程设计与制造(或施工)过程相当复杂,以初步设计阶段为例:海港设计需要从几十个不同的备选方案中选择一个或两个最优方案,这个过程将持续两年左右;汽车设计需要组成一个多学科设计团队,初步设计阶段也要一年以上;而在化学工程设计中,初步设计主要对目标过程中的各种变量进行材料和能量平衡计算,并证明其有效性,然后再将结果交给工程部门或客户(有时可能需要修建一个小型试验工厂)。

继而开展的详细设计阶段对初步设计阶段忽略的细节数据和结构加以考虑,根据实际制造或施工的约束条件进行详细设计,完成设计图或施工图。

制造或施工阶段由于涉及制造过程的实施或施工现场的管理,与设计阶段差别很大,而且通常由另外的团队组织和实施,他们的企业文化可能与设计团队的企业文化完全不同。

并行工程作为一种设计与集成理念,以缩短产品开发周期,降低成本,提高质量为目标,把先进的管理思想与先进的自动化技术结合起来,采用集成化和并行化设计方法,在产品开

发早期就充分考虑产品生命周期中相关环节的影响,力争产品研发、试制和投产的一次成功,在优化和重组产品开发过程的同时,实现多学科专家团队的协同工作。实现这种协同工作方式的前提条件是所有相关信息的集成和共享,即参与设计、制造或施工过程及其子过程的所有人员共享数据和知识。

因为产品概念设计完全可以由一个人或由少数人合作完成,因而从事研究的学者们对设计过程中的概念设计阶段更感兴趣。在已经发表的设计理论和设计方法方面的论文中,大多数是针对初步设计阶段的,其主要原因就在于初步设计阶段的问题易于处理,而初步设计之后的阶段更偏向于组织管理,涉及的因素更多,难度也更大。尽管如此,这并不意味着我们将研究限制在初步设计阶段,因为如果这样的话,将智能体技术引入工程领域就没有意义了。

下面的章节中,在详细介绍智能体(agent)技术及其在设计与制造领域的潜在应用价值之前,首先简要介绍工程设计与制造领域的一些基本概念及概况。需要指出的是,尽管前面我们提到过海港设计和工厂设计等其他工程设计及施工问题,但本书将侧重于机械产品的设计与制造领域。

1.2 工程设计

首先回顾一些工程设计与制造领域的基本概念,包括:初步设计、详细设计、概念设计、创造性设计和创新设计、功能设计、配置设计、参数化设计、基于特征的设计、常规设计、智能设计和知识强化型设计等。

1.2.1 设计与设计过程

关于设计的目的,不同领域的学者有着各自不同的定义,其中,Takala(1989)的定义如下:“设计是发现或构造一个产品、产品表达和产品模型的过程,一个好的设计能够从本质上满足其使用者所描述的功能和其他需求”,这个定义对名词“设计”的现代意义做了很好的总结。

在欧洲,“设计”这个名词具有不同的内涵,它更侧重于设计的艺术性而不是技术性,这也许与“设计”这个词的起源有关。按照 Orel(1991)的观点,“设计”这个词产生于文艺复兴时期,当时艺术家们谈论“设计”时主要用于描述一幅画或一个模型的质量或美观程度。

另外,设计也可以指一个过程,如 Treur(1991)所述:“通常,设计过程即为特定对象建立需求并对这个对象应该具备的特性进行表达;我们把这些特性称为(初始)设计需求,设计过程的目的就是建立一个能满足设计需求的对象结构表达。”

1.2.2 初步设计与详细设计

初步设计只需要为待解决问题找到一个大致可行的方案。对应于前面提到的实例,即:选择一个近似的海港设计规划方案、构思一个汽车原型或设计出生产流程图。但详细设计

则不同,详细设计必须详细说明制造(建造)最终产品所需的所有信息,如海港设计施工图、汽车及零部件的详细设计图纸和化工厂装备及施工图。通常,初步设计和详细设计由不同的团队完成。

1.2.3 概念设计

现代产品设计的核心是创新,而概念设计作为产品早期设计的重要阶段,它的本质特点就是创新性,它是产品设计中最体现人类智能、决定方案优劣的阶段,因而是产品设计中最为关键的阶段。概念设计的定义有很多种。例如,McNeil(1998)等认为,设计过程早期阶段(概念设计)有别于其他阶段,在这个阶段中人们更注重对问题本身的理解并作出综合决策,而不看重某一局部问题的解决方案。概念设计从高层需求描述开始,随着解决方案的高层描述自上而下进行。Takala(1989)认为概念设计是用近似现实世界的表达对抽象概念进行描述。Baker(1991)则认为,设计过程在早期(或概念设计阶段)始于概念的产生,开始只需要用需求准则来评价这些概念,然后随着数据不断增加、功能不断明确,则需要对概念不断完善,以便人们在众多备选方案中作出决策。

尽管概念设计阶段只考虑有限信息,但概念设计是后续设计过程和步骤正常开展的出发点,此时的错误选择将导致低劣的设计,而低劣的设计必将导致不良产品。

由于概念设计阶段信息的不完整性,对所设计产品和设计过程进行表达会很困难。学术界公认的表达方法有键合图(bond graph)(Finger et al., 1989)和抽象图(sketching of abstractions)(Mukherjee et al., 1995)等。考虑到这一阶段的抽象性,设计工具和表达方法应该容易理解并便于使用,因此,非常需要真正能支持概念设计阶段的有效工具。但Karni和Arciszewski(1997)认为,这样的工具只起辅助作用。

Welsh和Dixon(1994)进一步把概念设计分为两个阶段:现象设计(phenomenological design)和描述设计(embodiment design),分别实现功能需求到行为描述的转换和从行为描述到初始物理系统的映射。

1.2.4 创造性和创新设计

创造性或创新设计指充分发挥设计者的创造力,利用人类已有的相关科学技术成果(理论、方法、技术原理等)进行创新构思,设计出具有新颖性、创造性及实用性产品的一系列活动,包括改善现有产品的功能、可靠性、经济性、实用性或设计全新产品。创造性设计会带来新发明,就像新的绘画风格。创新设计不仅是一种创造性活动,还是一种具有经济性、时效性的活动,同时还受到文化意识、政治制度、技术水平、管理及市场的影响和制约。例如随着技术的发展创新设计可以采用替代材料或技术对已有设备进行重新设计,如用塑料取代汽车的金属车身,用电气控制取代飞机的液压控制等。

Otto和Wood(1998)提出一种创新设计方法——在反求工程后增加一个再设计阶段,并实现了一个日用品的再设计。还有学者研究如何把人工智能技术应用于设计过程,实现创造性和创新性设计过程的自动化。

必须强调的是:创新设计是涉及多学科的复杂工作,包括设计学、创造学、经济学、心理

学等,需要对各学科知识进行综合与融合,对已有经验进行归纳与分析。还需要强调的是创新设计的最终目的在于应用,也就是说创新设计的产品应具有实用性。

1.2.5 功能设计

传统上功能设计指介于图 1.1 所示的技术规格说明和物理特征设计之间的设计阶段。功能设计的重要作用在于把需求表达为一组功能约束,这些功能约束制约着后续设计过程和步骤。在近年来的实践中,尽管这个设计阶段依然被单独标示,但其实质内容却发生了很大变化。这主要是由于功能设计方法广泛存在于产品生命周期,很难与其他阶段明确区分。Chittaro 和 Kumar(1998)指出,功能设计强调功能表达和推理在设计、诊断或自动化中的重要性,功能可以作为连接输入和输出(能量、物质、信息)的处理环节,也可以把用户需求有效地转换为系统部件行为的描述,因此往往很难将功能设计与其他设计阶段明确地区分开来。

功能和功能表达作为设计的一种通用方法,已被广泛地应用,下面是几个具体的例子。

(1) 捕捉设计意图(rationale)(Chandrasekaran et al., 1993);

(2) 概念设计(Chakrabarti et al., 1994);

(3) 模压金属零件设计(Mukherjee et al., 1995);

(4) 设计分析(Price, 1998);

(5) 组织设备及其作用环境方面的知识,从而支持自适应性设计(Prabhakar et al., 1998)。

1.2.6 配置设计

产品配置设计是利用客户需求对产品配置模型进行实例化的过程,即根据预先设计好的零部件集合以及它们之间的相互约束关系,通过合理组合形成满足客户个性化要求的产品设计过程。进行产品配置的前提和基础是一组预先设计好的、模块化的零部件集合,约束条件则指客户需求以及零部件之间的结构关系。在这种配置设计过程中也可能需要对那些不能直接从零部件库中找到的零部件进行新的设计。

由于配置在产品设计中的重要作用,过去十多年中,产品配置设计作为人工智能的应用领域之一引起研究人员极大的兴趣。Carlson-Skalak 及其同事(1998)把配置设计定义为“把已有部件组装为功能系统”,其主要目的是寻求更多可行的部件组合方案。支持产品配置设计的技术包括:

(1) 分层抽象方法(McDermott, 1982; Mittal et al., 1986),用于对部件的功能进行推理,以实现不同层次上的抽象;

(2) 神经网络方法(Swift et al., 1991);

(3) 基于文法(grammar)的推理方法(Schmidt et al., 1993);

(4) 遗传算法(genetic algorithms)(Brown et al., 1993; Carlson-Skalak et al., 1998; Gero et al., 1998; Jo et al., 1998)。

1.2.7 参数化设计

参数化设计是指通过改动图形或模型某一部分或某几部分的尺寸,自动完成对图形或模型中相关部分的修改,从而实现尺寸对图形或模型的驱动,这种驱动所需的几何信息和拓扑信息由计算机自动提取。参数化设计具有很强的草图设计功能以及尺寸驱动图形的特征,已经逐渐成为初步设计、产品建模、修改系列化设计、多方案比较和动态设计的强有力手段。

参数化设计基于几何转换,早在 20 世纪 80 年代中期的商品化 CAD 软件中广为采用,即在零件族的表达中设置多个几何变量,并在相应零件的加工程序中采用宏程序技术,使得零件设计可以适应简单的结构变化(如改变一块板上的孔的数量)。目前,参数化设计软件已经非常成熟,能否实现参数化设计已经成为评价 CAD 系统优劣的重要指标。

1.2.8 基于特征的设计

基于特征的设计方法依据特征造型技术,其出发点是简化设计过程,将几何信息与功能(包括制造、装配、管理等)信息有机结合,从而成为一种新的设计方法。实际上基于特征的设计可以看做是一种将复杂设计问题转换成配置设计问题的设计方法。将设计空间进行部分离散化,不仅减少了零件设计的复杂性,而且使得设计过程与制造过程的连接更为紧密(Shah et al., 1993),正如 Rosen(1993)所描述的:“特征是对几何的有意义抽象,设计师用它们对部件、零件和过程进行推理”。对于设计活动而言,特征是设计参数,可以生成与产品生命周期内其他活动相关的信息,如制造信息。Nielsen 和同事们(1991)用这种方法探讨了捕捉和利用设计意图的可能性。基于特征设计的研究进展主要体现在两个方面:一是基于特征的设计系统开发(Cutkosky et al., 1992);二是类似于 Gene 和其同事(1998)提出的用于快速装配的特征库方法。

在基于特征的设计研究领域有两项关键技术,一项是特征提取(这与初步设计或几何模型中的特征识别问题有关);另一项是特征表达(用于制造等后期阶段)。

1.2.9 再设计和常规设计

再设计是对已有产品进行的改进设计,通过对产品零部件乃至整体的重新利用而节省资源的设计方法。Otto 和 Wood(1998)给出了一个很好的例子,针对厨房设备采用反求工程,通过对不同备选方案进行实验,最终系统地改进了原有设计。这个方法提供了产品创新设计的可能性。

常规设计通常与同一产品族内产品的重复设计有关,通过改变以前的产品设计而得到新产品。大多数产品——家庭用具、电脑、汽车或飞机制造企业均可采用这种设计方法。由于人们期望获得创新产品,因而提出了很多常规设计的改进方法,这些方法大都引进人工智能技术,例如在结构设计中采用文法推理方法(Oksala, 1993),或利用历史信息对设计空间进行搜索(Takala, 1989)。

1.2.10 智能设计

智能设计开始于 20 世纪 80 年代后期,主要研究 CAD 工具中知识的引进和利用,即将人工智能和专家系统技术应用于 CAD 系统。Bridge(1989)认为:“智能 CAD 可以理解为支持设计师的智力活动,它是一种具有内置设计知识的设计工具”。与此同时,Rogier 和 Tolman(1989)认为:“智能设计中的‘智能’应该理解为:‘提供处理并扩充系统中所存储知识的可能性’,系统中存储的知识可分为三类:①领域知识(domain knowledge);②过程知识(procedural knowledge);③元知识(meta-knowledge)”。Tomiyama 和同事(1995)对智能 CAD 系统进行了分类并认为:“第一代智能 CAD 系统主要基于专家系统技术;第二代智能 CAD 系统具有约束管理和约束求解的能力;第三代智能 CAD 系统则融入了设计过程和设计对象的表达”。

智能设计的发展可分为三个阶段,分别对应以下三种方法:

- (1) 将人工智能引入 CAD 系统;
- (2) 将 CAD 工具与专家系统相结合;
- (3) 利用人工智能技术开发新的设计工具。

20 世纪 80 年代后期和 90 年代前期研究者们在此领域开展了大量研究项目,这些项目分别采用上述三种方法。采用第一种方法的项目包括:

- 在几何模型中引进约束和约束推理(Arbab, 1989; Bridge, 1989; Veltkamp, 1991; Guan et al., 1995);
- 利用约束和事实维护系统(truth maintenance systems, TMS) (Faltings et al., 1991; Baykan et al., 1991);
- 数字和符号混合推理方法(Murtagh et al., 1989);
- 采用文法生成设计族(Aksoy et al., 1993; Oksala, 1993);
- 开发新的表达语言,采用对象或框架把知识和规则加入到传统设计工具中(Krause et al., 1989; Bijl, 1989; Barthes, 1993);
- 采用学习技术改进设计过程(Persidis 和 Duffy, 1989);
- 将面向对象技术用于新的设计工具,如 IIICAD(Xue et al., 1989);
- 采用神经网络和遗传算法以缩小设计解空间的搜索范围(Brown et al., 1993; Carlson-Skalak et al., 1998; Gero et al., 1998; Jo et al., 1998)。

第二种方法强调在已有的 CAD 环境增加与智能系统交互的接口,而不提倡重新开发全新的智能 CAD 系统。这种方法可以充分利用企业已有的 CAD 系统相关软件和数据库,因而更为工业界所推崇。这方面的例子包括:

- 针对汽车前轮驱动系统设计的 ARCHIX 项目(Thoraval, 1991)和针对卫星优化配置的 ANAXAGORE 项目(Trousse, 1993),这两个项目由外部智能系统驱动 CAD 环境,因而 CAD 环境成为从属系统。
- 海港设计项目(Monceyro et al., 1992)采用多专家环境将智能技术集成到现有工程软件系统中。

第三种方法从人工智能的观点考虑设计过程,采用人工智能概念、技术或语言开发新的

设计工具(包括从早期设计阶段到详细设计阶段在内的各种设计和建模工具):

- 将逻辑推理用于设计过程的核心(Tweed et al., 1989; Treur, 1991);
- 采用逻辑方法开发专门系统,实现创造性概念设计(Kishi, 1989);
- 采用框架语言所提供的灵活表达方法在同一形式框架下进行产品建模和知识建模;
- 提出基于实例的推理机制以便重用以前的设计;
- 提出采用智能体技术进行协同的智能设计。这也是本书后面主要探讨的问题。

很显然,人工智能技术在以下两方面非常有效:①在早期设计阶段,当所拥有的数据不足以驱动传统的 CAD 设计过程时;②当设计空间是离散的,并且搜索空间随离散设计参数呈指数型增长的情形下,人工智能技术类似于组合优化方法,可以有效缩减搜索空间,快速找到最优或次优解。

1.2.11 知识强化型设计

1.2.10 节叙述的方法只考虑了设计过程本身,而新趋势则是在产品设计时考虑整个生命周期及其相关知识,因而产生了知识强化型设计(knowledge intensive design)这一概念。Mäntylä(1995)认为:“知识深化(knowledge capitalization)和知识部署(knowledge deployment)是知识强化型 CAD 系统的基本特征”。Tomiyama 及同事(1995)则引进了知识强化工程的概念:“知识强化工程是以一种新方式从事产品生命周期内各个阶段的工程活动,这些活动提供灵活的手段以便传送大量知识并使其产生更大的附加价值,因而允许人们共享和重用产品生命周期中的各种知识”。他们进而为知识强化型设计作了如下定义:“知识强化型设计环境应该促进设计知识及设计信息的产生和灵活交换,并允许这些知识和信息用于产品生命周期的各个阶段,因而它并不是又一种为设计师提供智能支持的基于知识的设计系统”。根据这个定义,知识强化型设计的重点是设计过程的有效组织而不是一般的纯技术问题,因此知识强化型设计系统主要面临的问题是采用什么样的技术可以实现知识强化环境。用智能体技术解决这一问题的可能性和可行性研究在十多年前就已是一个热门课题(Barthès, 1995; Brown et al., 1995; Shen et al., 1994; Tomiyama et al., 1995)。

1.2.12 并行设计

并行设计(也叫协同设计、合作设计和多学科设计)是产品设计人员通过与产品生命周期相关的其他人员进行合作而进行的一种设计过程,这种合作包括设计、制造、组装、实验、质量保障和销售以及供应商和客户等(Sprow, 1992)。并行设计的实质在于:通过交换、共享产品的设计信息和知识来提高产品设计过程决策的正确率,减少返工次数,加速决策过程,进而提高设计效率。因此,实现协同设计有利于优化产品的机械性能、降低生产或组装成本、确保产品服务和维护的便捷性和经济性等(Hartley, 1992)。在过去的十多年中,学术界及工业界已经提出并开发了许多并行设计系统,这些系统采用了分布式对象技术、智能体技术和因特网技术等,本书主要探讨智能体技术在并行设计和制造中的应用。

1.3 先进制造系统

本节介绍 4 种先进制造系统：计算机集成制造系统(CIMS)、柔性制造系统(FMS)、智能制造系统(IMS)以及 Holonic 制造系统(HMS)。传统制造系统的描述不在本书的范围之内,这方面有许多著作和参考文献供读者参考。

1.3.1 计算机集成制造系统

1974 年, Joseph Harrington 博士(美国)在“Computer Integrated Manufacturing”中提出计算机集成制造(computer integrated manufacturing, CIM)的概念,其基本观点如下: ①企业的各个生产环节是一个不可分割的整体,需要统一考虑; ②整个生产制造过程实质上是对信息的采集、传递和加工处理的过程,最终形成的产品可看做是信息的物质表现。计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system, CIMS)是基于 CIM 思想而构建的系统,是集现代管理技术、制造技术、信息技术、自动化技术、系统工程技术于一体的系统。尽管计算机集成制造(CIM)已经不是一个新概念,但在过去的 30 多年中不断有新的内容融入其中。计算机对 CIMS 各领域的集成起着核心作用,如图 1.3 所示(Kusiak et al., 1988)。



图 1.3 CIMS 的结构和功能领域

为了强调 CIM 中“计算机”的作用,很多术语如计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺过程计划(CAPP)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助质量控制(CAQC)以及自动仓储系统(ASR)已经得到普遍应用,这些计算机辅助系统分别对应于图 1.3 所列出的一个或多个功能领域。其中,CAD 用于零件、产品、工具和夹具的设计;CAPP 用于完成产品加工或装配工艺过程规划;CAM 用于完成加工设备的程序编制以及生产计划、加工、装配和设备维护计划;CAQC 用于质量控制与检验;ASR 用于原材料、成品和半成品的自动存储与分拣。

计算机在制造系统自动化硬件设备(即机床、物料处理与搬运装置等)与系统软件的集成中起着主导作用,Kusiak 和 Heragu(1988)提供了这方面的详细讨论。CIMS 方面的文献