

中国博士后科学基金项目 (No. 20080441010)

教育部人文社科基金项目 (No. 08JC630038)

协同设计支持环境及 冲突消解理论与方法

THEORY AND METHOD
ON COLLABORATIVE
DESIGN SUPPORT
ENVIRONMENT
AND CONFLICT RESOLUTION

孟秀丽 / 著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

- ☐ 中国博士后科学基金项目(No. 20080441010)
- ☐ 教育部人文社科基金项目(No. 08JC630038)
- ☐ 南京财经大学学术著作出版基金

协同设计支持环境及 冲突消解理论与方法

THEORY AND METHOD ON COLLABORATIVE DESIGN SUPPORT
ENVIRONMENT AND CONFLICT RESOLUTION

东南大学出版社
· 南京 ·

内 容 简 介

本书围绕协同设计支持环境及冲突消解理论与方法展开研究,包括建立支持多领域专家协同设计支持环境的体系结构、协同设计过程规划、协同设计中的约束模型和协同设计冲突检测及消解等方面。通过本书的研究,建立协同设计支持环境,消解协同设计中的冲突,使各协同小组在网络环境支持下进行合作与协调,在所建立的协同支持环境中进行协同设计,验证所建立的协同设计支持环境和所提出的冲突消解方法的可行性、实用性和可靠性。

本书可供工业工程和机械工程专业的研究生参考,也可供制造业和服务业的工程师等工程技术人员及有关的工程管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

协同设计支持环境及冲突消解理论与方法/孟秀丽
著. —南京:东南大学出版社,2010.4

ISBN 978-7-5641-2117-4

I. ①协… II. ①孟… III. ①工业产品—计算机
辅助设计—研究 IV. ①TB472-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 032892 号

协同设计支持环境及冲突消解理论与方法

出版发行	东南大学出版社
出 版 人	江 汉
网 址	http://press.seu.edu.cn
电子邮件	press@seu.edu.cn
社 址	南京市四牌楼 2 号
邮 编	210096
电 话	025-83793191(发行) 025-57711295(传真)
经 销	全国新华书店
排 版	南京理工大学资产经营有限公司
印 刷	南京玉河印刷厂
开 本	700mm×1000mm 1/16
印 张	9.75
字 数	198 千字
版 次	2010 年 4 月第 1 版
印 次	2010 年 4 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5641-2117-4
定 价	24.00 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与读者服务部联系。电话(传真):025-83792328

前 言

为了提高竞争力,制造业必须不断缩短新产品开发时间(Time)、提高质量(Quality)、降低成本(Cost)、改进服务(Service),并增强环境保护意识(Environment),只有这样才能在激烈的市场竞争中立于不败之地。面临着这些严峻的挑战,将信息技术应用于传统制造领域并对之进行改造,是现代制造业发展的必由之路。因此,迫切需要利用信息技术改造传统的产品开发模式,协同设计就是其中的一个重要研究热点,异地设计、制造、管理与协同工作是未来制造业发展的必然趋势。鉴于此,本书将协同设计引入产品设计和制造过程中,对协同设计支持环境及冲突消解理论与方法进行研究。主要研究工作包括如下几个方面:

1. 研究并建立了协同设计支持环境的体系结构

对产品协同设计过程进行分析,得出产品协同设计的新特点和功能要求,在此基础上提出了协同设计支持环境的结构层次,该协同设计环境主要由三个方面的内容组成:对产品设计开发活动的支持、对设计活动单元组织和管理的支持、对设计活动单元间协同的支持。采用分布式为主,集中式为辅的方式,建立了协同设计支持环境的体系结构,并从不同的角度对该体系结构进行描述。

2. 研究并实现了协同设计任务规划与管理功能

采用按功能划分和按结构划分相结合的方式对协同设计的任务进行分解。用结构设计矩阵对产品设计过程进行描述,通过对结构设计矩阵递归实施独立操作和定耦与归一操作完成设计任务规划。研究影响任务分配的因素,将任务分配给合适的小组,并给每一子任务确定合适的开始时间和结束时间。提出了产品层次式递归化任务分解模型,并给出了任务管理的具体实现方式以及任务规划功能模块的网络实现流程。

3. 研究并实现了基于协同约束模型的冲突检测方法

研究了协同设计约束的分布性、动态性和层次性等特点以及约束

的分类和表现形式。从约束、约束集和约束层三个不同的层次研究协同设计约束模型。将约束分为产品层、部件层、零件层和特征层四个层次,并研究了分层约束网络之间的映射关系。研究约束网络的一致性、有效性、完备性和全面性,在此基础上研究约束模型的求解方法。将约束分为独立约束和耦合约束,通过两种约束的转换产生动态的约束空间,并综合利用约束传播算法和区间求解算法对约束模型进行求解。最后对协同设计中的约束进行管理并提出了协同约束模型的网络实现流程。

4. 研究并提出了基于深浅两个层次的协同设计数学冲突消解方法

浅层次的冲突消解利用求解多目标决策问题的优化算法,在定性分析的基础上综合来自不同领域专家的意见,协同决策最佳方案,其实质是从多个可行方案中找到符合各方设计人员要求的唯一优化解。深层次的冲突消解策略研究基于对策论的目标冲突协商方法,建立协同设计冲突协商模型,给出该模型的 Nash 协商解和基于满意度的解,使冲突各方通过对设计属性的取值进行协商来消解冲突。

5. 研究并实现了基于人工智能的冲突消解工具

建立了集成化冲突消解模型,该模型从冲突全生命周期的角度对冲突的产生、检测和消解进行全面的管埋。研究了基于约束网络传播来检测冲突的方法,建立面向对象的冲突知识表示形式并分析了冲突的关联关系。研究了约束松弛、基于规则的推理、基于事例的推理和协商仲裁等冲突消解策略。最后给出了集成冲突消解过程的流程和冲突消解工具的网络实现流程。

6. 实体机床产品案例验证

在上述理论研究的基础上,建立了协同设计支持环境的原型系统 MTOCDS,通过典型实例机床部件床头箱的运行,验证了本书所提出的关键技术的有效性。

本书共分 7 章,各章主要内容如下:

第一章是全书的总论,主要研究协同设计的背景,对国内外协同产品开发研究现状和存在问题进行了分析,提出全书主要研究内容。

第二章借鉴典型协同设计的体系结构,并结合其特点,提出了一个以协同设计思想为指导的协同设计支持环境,用于支持分布式异地协

同设计。从框架结构和网络体系结构等不同方面详细地研究了满足要求的协同设计支持环境的体系结构,该协同设计支持环境使用户能够通过统一浏览器界面开展协同设计,同时对建立这一体系结构所涉及的关键技术进行了研究。

协同开发强调多功能小组共同参与,这种群组工作方式将引起产品开发任务规划的交互、重叠、冲突等问题,为了有效地避免协同产品设计中的流程冲突,要求对这种群体工作方式的产品开发过程进行合理规划。因此,第三章根据任务分解原理提出了开发任务的具体分解方法,采用结构设计矩阵来判断任务分解的合理性并对任务进行重组,给出耦合任务集的解耦方法。为确保将子任务在合适的时间分配给合适的协同小组,本书又给出任务的人员分配和时间分配方法。讨论任务分解的逐层细化过程,确定任务间的偏序关系,提出了产品层次式递归化任务分解模型及流程。并给出了任务管理的具体实现方式和任务规划功能模块的网络实现流程。

参与协同设计的各小组之间存在着相互制约和依赖的约束关系,各种关系交织在一起构成约束网络,协同设计的过程就是基于约束网络的约束求解过程,约束管理能够对不同产品开发人员的工作起到协调作用。因此,第四章分析协同产品开发中约束的层次性、动态性和分布性等特点,研究约束的分类和表现形式,采用 EXPRESS 语言对约束、约束层和约束集的数据结构进行描述,将约束分为产品层、部件层、零件层和特征层 4 个层次,提出协同设计支持环境中约束模型的建立方法和求解过程,并研究该模型的一致性、有效性和完备性,在此基础上对动态约束满足问题进行求解,从而能够有效地对协同设计中的冲突进行检测。对协同产品开发中的约束进行管理,给出了约束管理功能模块的网络实现流程。

冲突是协同设计的本质现象,从某种意义上说,协同设计的过程就是冲突的产生和消解的逐步进化过程。第五章分析了协同设计中冲突的起因和分类,提出了从深浅两个层次进行冲突消解的数学方法。浅层次冲突消解的实质是从多个可行方案中找到符合各方设计人员要求的唯一优化解。当没有可行建议方案时,浅层次的冲突消解无法进行,必须对冲突进行深层次的处理。深层次的冲突消解研究基于对策论的

目标冲突协商方法,从而使冲突涉及的各方通过对设计属性的取值进行协商来解决冲突。由于数学方法对冲突对象各方数学模型的要求较高,在模型难以建立的情况下,需要借助于基于人工智能的冲突消解方法。建立了集成化冲突消解模型,对冲突的产生、检测和消解进行全面的的管理。研究了基于约束网络的传播来检测冲突的算法和基于约束松弛方法的冲突消解策略,提出了基于规则推理的冲突消解策略和基于事例推理的冲突消解策略,对于上述方法无法消解的冲突采用协商仲裁的冲突消解方法。给出了集成冲突消解过程的流程和冲突消解功能模块的网络实现流程。

第六章在上述理论研究的基础上,建立了协同设计支持环境的原型系统,提出了系统的逻辑框架结构和试验环境。通过具体机床产品的实例运行,介绍了该原型系统的运行及结果情况,进一步验证了本书所提出的协同设计支持环境的关键技术的有效性。

最后在第七章对本书进行总结,并提出了今后研究的方向。

本书的研究工作得到了中国博士后科学基金项目(No. 20080441010)和教育部人文社科基金项目(No. 08JC630038)的支持。本书的出版还得到了南京财经大学学术著作出版基金的资助,得到了南京财经大学管理科学与工程学院、东南大学机械工程学院、东南大学经济管理学院和东南大学出版社的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

在本书的撰写过程中,参考了国内外大量相关文献及编著,在此向所有的参考文献作者表示谢意。

由于作者的理论水平和实践经验有限,加之编写时间仓促,书中肯定有不尽如人意之处,恳请各位专家和读者批评指正。

作 者
2010 年 2 月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 并行工程(CE)	1
1.1.2 计算机支持的协同工作技术(CSCW)	2
1.1.3 计算机支持的协同产品开发(CSCD)	3
1.2 国内外研究现状	4
1.2.1 协同设计支持环境的研究现状	5
1.2.2 协同设计过程建模的研究现状	7
1.2.3 协同约束模型的研究现状	8
1.2.4 冲突消解机制的研究现状	9
1.3 目前协同设计中存在的问题	10
第二章 协同设计支持环境的体系结构	12
2.1 协同设计的内涵	12
2.1.1 协同设计系统的分类	12
2.1.2 协同设计系统的结构	13
2.1.3 协同设计系统的特点	15
2.2 协同设计的组织分析	16
2.3 协同设计过程分析	18
2.4 协同设计支持环境的结构层次和新特点	21
2.5 协同设计支持环境的体系结构	22
2.5.1 协同设计支持环境的网络拓扑结构	24
2.5.2 协同设计支持环境的框架结构	24
2.5.3 协同设计支持环境的技术体系结构	26
2.6 协同设计支持环境的关键技术	27
2.7 协同设计支持环境的工作流程	28
2.8 本章小结	29
第三章 协同任务规划与管理	30
3.1 协同设计任务分解	30

3.1.1	任务分解原则	30
3.1.2	任务分解	31
3.2	协同设计任务重组	33
3.2.1	设计结构矩阵的建立	33
3.2.2	任务重组步骤	34
3.2.3	耦合任务集的解耦方法	38
3.3	协同设计任务分配	39
3.3.1	设计任务的人员分配	40
3.3.2	设计任务的时间分配	43
3.4	产品协同设计任务分解模式及流程	45
3.5	协同设计任务管理	47
3.6	协同任务规划功能模块的网络实现流程	50
3.7	本章小结	51
第四章	基于分布式协同约束模型的冲突检测方法	52
4.1	协同设计中约束的特点、种类和表现形式	52
4.1.1	协同设计中约束的特点	53
4.1.2	协同设计中约束的种类	54
4.1.3	协同设计中约束的表现形式	56
4.2	协同设计中的约束模型	57
4.2.1	协同设计中的约束网络构建	57
4.2.2	分层约束网络之间的映射关系	61
4.2.3	约束网的一致性、有效性、完备性和全面性	63
4.2.4	约束网络实例列举	65
4.3	协同设计中的约束求解	66
4.3.1	协同设计中的动态约束求解模型	67
4.3.2	协同设计中约束模型的求解	69
4.4	协同设计中的约束管理	72
4.5	协同约束模型功能模块的网络实现流程	75
4.6	本章小结	76
第五章	协同设计中的冲突消解方法	77
5.1	协同设计中冲突的内涵	77
5.1.1	协同设计中冲突的定义、作用和起因	77

5.1.2	协同设计中冲突的特点和分类	79
5.2	协同设计中冲突起因的数学描述	81
5.3	协同设计冲突消解的数学策略	83
5.3.1	基于多目标决策的协同设计冲突消解方法	83
5.3.2	基于对策论的协同设计冲突协商方法	90
5.4	协同设计中基于人工智能的冲突消解工具	100
5.4.1	集成化冲突消解模型的建立	100
5.4.2	冲突检测	102
5.4.3	冲突归档	102
5.4.4	冲突消解	104
5.5	冲突消解功能模块的网络实现流程	119
5.6	本章小结	120
第六章	原型系统的实现和案例验证	121
6.1	原型系统的试验环境	121
6.2	原型系统总体结构	122
6.3	原型系统的工作流程	125
6.3.1	典型零部件床头箱设计的协同任务规划	125
6.3.2	典型零件主轴设计的协同约束管理	127
6.3.3	典型零件主轴设计的数据冲突检测	128
6.3.4	典型零件主轴设计的冲突消解	129
6.3.5	典型零件箱体设计的知识冲突检测和消解	133
6.3.6	系统的协同支持工具	133
6.4	本章小结	134
第七章	本书总结与展望	135
参考文献		138

第一章 绪论

随着人类工业文明的不断进步,制造业已经成为一个国家经济命脉和综合国力的基础。制造业不仅可以直接创造价值,成为社会财富的主要创造者和国民经济收入的重要来源,而且可为国民经济的各个部门提供先进的手段和装备。从某种意义上说,制造业的水平是一个国家的经济实力、科技水平、生活水平和综合国力的真实反映。所以,我国把制造业作为经济发展的重点,但与发达工业国家相比,我国制造业还有明显的差距。

为了提高竞争力,制造业必须不断缩短新产品开发时间(Time)、提高质量(Quality)、降低成本(Cost)、改进服务(Service),并增强环境保护意识(Environment),只有这样才能在激烈的市场竞争中立于不败之地。面临着这些严峻的挑战,将信息技术应用于传统制造领域并对之进行改造,是现代制造业发展的必由之路。因此,迫切需要利用信息技术改造传统的产品开发模式,协同设计就是其中的一个重要研究热点。协同设计技术通过整合产品开发的任务逻辑和组织逻辑,最优地实现“什么人在什么时间应该做什么以及如何去做”,完成产品高效、高质量、低成本开发,增强企业在全球市场中的竞争能力。

本章对并行工程进行了介绍,在此基础上阐述了协同设计的概念,综述了国内外协同产品开发技术和支持环境的研究现状与存在问题。

1.1 研究背景

1.1.1 并行工程(CE)

为了在竞争中求生存,许多国家的制造业通过实施 CIMS 工程和采用 CAD 技术取得很大的成绩。但在实践中他们发现改进产品开发过程会比改进生产过程获得的效益大,并行工程就是在这种情形下产生的。美国防御分析研究院通过大量的对比调研,于 1988 年提出了 CE 定义:“并行工程是对产品设计及其相关过程(包括设计过程、制造过程和支持过程)进行并行、一体化设计的一种系统化的工作模式。这种工作模式力图使开发者一开始就考虑到产品全生命周期中的所有因素,包括质量、成本、进度与用户要求。”^[1]所谓并行,是指一个以上的事件在同一时

刻或同一时段内发生,多个复杂事件可以表示为空间的复杂和时间的复杂。

并行工程引起了各国的高度重视,各国政府都在大力扶持并行工程技术的开发,把它作为抢占国际市场的重要技术手段,并在实践中取得了显著的经济和技术效益。美国国防部 1988 年对并行工程应用于武器系统的采购进行了可行性调查研究,结果有力地证明了并行工程的有效性。国防先进研究计划局鼓励工业界实施并行工程的实践,并建立了由政府、工业界、研究机构参与的联合研究计划 DICE,重点开发并行工程信息体系结构。该计划首先在西弗吉尼亚大学建立并行工程研究中心,并与通用电气公司合作,以发动机叶片为对象研究并行设计方法,取得了显著效果,把产品研制周期从 18 个月缩短到 7.5 个月^[2]。目前并行工程技术在国外取得了较多应用成果,如波音(Boeing)、洛可希德(Lockheed)、雷诺(Renault)、通用电力(GE)等公司。

并行工程的核心内容是并行设计,并行设计要求考虑的因素有市场需求、制造、装配、维护、环境保护等。并行设计作为一种设计“哲理”,是在原有信息集成的基础上,集成、并行地设计产品。并行设计更强调功能上和过程上的集成,在优化和重组产品开发过程的同时,实现多学科领域专家群体协同工作。并行工程的基本特点在于并行的团队工作方式(Team-work)和强有力的通讯支持,它强调的不仅是信息集成而且是人的集成,是一个借助于先进的计算机和通讯手段,协调人人、人机和机机之间关系的系统工程。

1.1.2 计算机支持的协同工作技术(CSCW)

当今企业所处的环境特征可以用 3C 来概括:变化(Change)、顾客(Customer)和竞争(Competition),也就是说,企业必须适应不断变化的市场,以顾客需求为导向,在产品的品种、质量和服务等方面赢得竞争地位。总之,企业面临的严峻形势和激烈的竞争促使企业各项任务的完成都采用群体工作方式,即由群体成员相互协作、共同完成。同时由于市场竞争日益国际化,迫使许多企业分散经营。再加上计算机技术显著提高了个人工作效率和质量,人们迫切希望能有支持和协调群体活动的新型计算机系统,提供一个良好的协同工作环境。于是,计算机支持的协同工作(Computer Supported Collaborative Work, CSCW)作为一个新的多学科研究领域应运而生。1984 年 MIT 的 Iren Greif 和 DEC 的 Paul Cashman 等人首先提出了计算机支持的协同工作的概念。1986 年在美国 Texas 由 ACM 召开了第一届 CSCW 国际会议,CSCW 得到了国际上的重视。1998 年在北京召开了第一届中国 CSCW 学术会议 CCSCW,标志着中国 CSCW 研究新局面的开创。

CSCW 综合应用计算机和通信技术、分布式技术、人机接口工程、管理科学和

社会学等学科的理论 and 成果,支持群体为实现特定的目标和完成共同的任务而提供已共享的环境和接口,以便群体成员进行同时或不同时、同地或异地的合作活动,因此,CSCW 是一个跨学科的领域。CSCW 的目标是要设计支持各种协同工作方式的应用系统。实现一个 CSCW 系统涉及两个方面的因素:一是技术因素,包括网络技术、多媒体技术、虚拟现实技术、面向对象技术和人工智能技术等;另一类是人文因素,如工作者的心理和行为、文化背景、组织管理及法律等^[3]。

CSCW 的显著特点在于:它是面向任务的,而不是面向问题的;它是支持群体组织的,而不是支持个人的。群体的复杂性、群体任务的复杂性、所应用的高新技术及三者之间的关系造成了 CSCW 系统的复杂性。CSCW 在功能上有如下特点^[6]:支持群体工作,如意见收集、方案产生、提案评价、投票表决等;能增加新的任务和活动;为完成新的任务,系统能做出快速的改变,以适应其需要;具有满足组织成员之间各种通信模式的机制;对新的数据结构能做出动态的定义,并具有多种介质形式;允许异时异地的并行处理等。

CSCW 在广阔的领域得到应用,凡是具有协同工作(广义的)特征的、可采用计算机及网络为技术支持手段的领域都属于 CSCW 的研究范围;凡是在计算机及网络环境下,涉及信息共享和群体协同工作的应用领域都有 CSCW 的用武之地^[6]。例如,军事应用;办公自动化(OA)和管理信息系统(MIS)的新发展;医疗应用;远程教育;合作科学研究;商业、贸易、金融的应用;各级政府部门的协调和决策支持;工业应用等。CSCW 在制造企业中的应用主要有:企业流程改造;电子会议、异地合作设计。其中的异地合作设计是 CSCW 在设计领域的应用,CSCW 为异地合作设计的实现提供了技术保障。

1.1.3 计算机支持的协同产品开发(CSCD)

计算机技术在人工智能(AI)、数据库技术(DB)、图形学(CG)、面向对象设计技术(OO)、计算机支持的协同工作(CSCW)方面的发展为工程设计向信息化迈进提供了坚实的基础。有了以上信息技术的支持,再加上制造业面临的激烈的市场竞争,迫切要求产品开发模式、开发工具及环境适合于多功能设计团队的协同工作。因此,建立一个支持信息共享、人员和技术及工具集成的设计环境,支持多学科专家跨越时间、空间障碍实现异地协同设计成为现代设计技术研究的热点^{[7][8][9][10][11][12]}。计算机支持的协同设计(Computer Supported Collaborative Design, CSCD),是 CSCW 的一个重要研究领域,它是 CAD 和 CSCW 技术相结合的产物,主要研究群体成员如何在计算机的支持下一起进行产品的协同设计,共同完成产品开发的问题。协同设计从根本上改变了传统的单机作业的产品开发方式,在分布式协同设计环境下,不同地点的设计人员可以在产品开发过程中随时寻

求合作,借助于协同设计系统提供的电子邮件系统、网络会议系统等工具进行讨论和协商,共同完成产品的开发。

随着 CSCW 的发展,协同产品开发技术也得到了相应的发展和应用。欧洲的 Esprit II 计划中的 EuroCoOp 项目就是为了开发能支持分布式协同开发的系统而展开的;波音 777 喷气客机的设计堪称异地协同设计的典范,它完全是由波音公司庞大的计算机网络协调该公司分散在世界各地的分支机构和日本三菱重工等五家公司进行设计和制造的^[13]。我国随着经济的高速发展,对协同设计技术的需求也日益迫切。清华大学、浙江大学、西安交通大学、中科院计算技术研究所 CAD 开放实验室等高校和科研院所对协同开发做了一些基础研究,建立了一些原型系统,实现了一部分关键技术。

有关协同设计的研究主要表现在以下几个方面:首先是应用研究,协同设计主要应用在 CAD/CAM/CAE 集成化、远程计算与设计、 workflow 管理与 PDM、虚拟产品设计与可视化等方面;其次是设计过程和设计行为的研究;再次是信息共享和协同机制的研究;最后是冲突及其消解方法的研究等。CSCD 是跨学科的综合性的研究,建立的工作模型应具有通用性和开放性。而由于工程应用问题的复杂性,还要充分考虑各个领域的特殊需要,使研究成果更有针对性和实用性。而且协同设计的研究涉及许多学科,如工程设计、计算机科学、系统科学、心理学、社会学等,这更加剧了协同设计研究的复杂性。总之,有关协同设计的诸多问题还有待于进一步研究,CSCD 已成为国内外研究的热点^{[14][15][16][17]}。

综上所述,协同设计、计算机支持的协同工作和并行工程三者的关系如下:并行工程是一种哲理,其本质表现为一种并行行为,并行工程哲理的实现有多种途径,而协同设计是最能体现并行工程思想的一种实现途径。协同设计就是组织多学科人员和工作小组协同完成某一共同任务,是计算机支持的协同工作在设计领域的应用,是并行工程在制造领域的深化,从某种意义上说,也是实现并行工程的关键。

1.2 国内外研究现状

协同设计是计算机支持的协同工作与先进制造技术相结合的产物,它包含了行为学、社会学、技术等多方面的研究问题,其中,协同设计技术已成为当今先进制造技术领域研究的热点^{[18][19][20][21][22][25][26][27][28]},也是本书的主要研究问题。国内外许多专家学者对协同设计支持环境、协同设计过程中的过程规划、冲突消解、约束模型进行了研究,并取得了很多研究成果^{[29][30][23][24]}。下面对这几个方面的研究状况分别进行分析和总结。

1.2.1 协同设计支持环境的研究现状

从 20 世纪 90 年代起,国外就开始对协同设计进行了研究^{[31][32]},协同设计涉及的技术甚广,不同的协同设计系统的侧重点不同,但开发计算机支持的协同设计支持环境到目前为止仍是国外研究的一个热点。

Standford 大学主持的 SHARE^{[36][37]}项目借助多媒体通信工具为设计工程师和设计小组间的协同设计工作提供各种支持,允许他们在计算机网络上收集、组织、访问和交流设计信息,以建立设计与开发过程的信息共享,从而达到设计小组在 Internet 上同步进行产品开发的目的是。

SHARE 为设计师提供的计算机工作环境能够提供如下的服务内容:①协作服务器,包括视频会议、多媒体邮件等;②方便而熟悉的显示界面;③在线目录服务,如订单查询、价格查询、投标服务等;④分布式产品数据管理服务;⑤特定的计算服务,包括仿真、分析和规划;⑥集成的底层结构,能够在异质的设计工具和数据库之间进行透明的互操作。

SHARE 为设计师提供的计算机环境主要包括以下三类核心工具:①信息捕捉、结构化和共享工具 NoteMail 和 DIS。通过该工具,工程师可以方便地捕捉、组织、查询、共享知识,而无须了解该项知识的详细情况;②通信和协作工具 MovieMail 和 Xshare。MovieMail 是将工作站的会话捕捉加工成一段视频剪辑的群件工具,Xshare 用于开展实时会议和应用共享;③互操作和服务调用。采用 KQML 工具箱为产品开发小组所使用的众多不同软件之间的交互提供中间件。

SHARE 虽然为建立协同支持环境提供了许多实用工具,但整个项目缺乏支持产品设计过程管理的工具,而且没有讨论对设计知识的管理和利用。另外,对协同支持环境的约束管理、冲突消解等方面的问题也没有深入地研究。

美国斯坦福大学的 PACT^[33]是一个典型的支持并行工程的协同支持环境。它是由该大学的知识系统实验室、设计研究中心、计算机科学系及 Lockheed 信息与计算科学中心联合开发的。PACT 的核心思想是通过不同的知识转换器支持分散的成员之间的协同工作,而不是采用传统的集成、可共享的设计模型。PACT 主要研究了下面三个问题:界面、协议和结构的协同开发;在系统中共享知识来维护各自的特定知识和推理机制;计算机辅助支持下的基于并行工程的协商和决策。该系统的结构基于交互 Agent, Agent 之间采用 KIF 标准表达知识,用 KQML 语言交流意见。该系统证明了利用 Agent 在知识层次上进行通信是构成大型复杂系统的有效方法。PACT 系统包括四个部分:基于分布知识集成环境的设计工具(Nvisage);建模和仿真环境(DEM);机械设计和过程规划系统(Next-Cut);数字电路设计、仿真和装配系统(DesignWord)。

California-Berkeley 大学研究的 CyberCut^[34] 系统,是将集成制造设计环境 (IMADE) 扩展成基于 Internet 的分布式代理环境。它是一个快速产品开发系统,支持 CAD 和 CAPP 人员的协同设计,其特点在于系统是基于 Web 的。

Srisam^[35]等在 DICE 项目的开发中使用了具有全局控制机制的面向对象的数据管理系统,来解决协调和通信问题,产品设计过程中提供的设计原理也被用来解决设计冲突。

Hardwick^[38]等提出了新产品设计与制造中增强企业间协作的底层信息体系结构。该体系结构将用于信息共享的 WWW 技术和用于产品建模的 STEP 标准集成在一起,并使用共同对象请求代理结构 (CORBA) 来保证虚拟企业中软件应用程序之间的互操作性。Design Space Colonization^[39]在 SHARE 研究的基础上,进一步讨论了计算机支持的协同产品开发的诸多问题。

此外,其它的协同设计系统还有 CoConut^[40], ACE^[41], ICM^[42], DOME^[43], NetBuilder^[44]等,限于篇幅,此处不一一列举。

目前,国内对协同设计支持环境也进行了较深入的研究^{[45][46][48][49][50][51][52]}。国家自然科学基金会把“基于网络技术的设计与制造”列入 1998 年度项目指南(机械工程学科)中鼓励研究领域^[53]。

HUANG^[78]提出了一个基于 Web 的框架 CyberReview,提供了许多 WWW 在线工具来支持各种决策活动的进行,如上、下载相关设计文档,提交个人评论,组织和实施网络会议等。该框架的设计基于公理设计理论,但是,由于协同设计人员的动态性,该公理设计理论需要进一步细化和扩展,如融入模糊理论等;而且,该框架没有融合项目管理功能,效率低。

清华大学的 CIMS 工程研究中心^{[54][55]}建立了面向 CIMS 的并行工程集成框架,使用 CORBA 技术实现了复杂计算环境下的数据共享和通讯。对协同设计系统的过程管理进行了深入研究,主要采用了基于约束的管理和基于 Petri 网的设计过程建模方法。其研究内容包括支持实时交互的协同工作电子会议系统和产品管理、过程管理、资源管理、组织管理和资金管理等模块,为建立协同设计支持环境奠定了基础。

重庆大学机械传动国家重点实验室^{[56][59]}建立了采用 TCP/IP 网络协议的异构 C/S 结构的协同设计工作环境,实现了支持分布环境下的并行工程设计小组的协同工作。该系统包括通用工具层和专用工具层,通用工具层包括用于众多领域的协同工作工具如数据管理、网络协议和多媒体等工具;专用工具指用于特定领域的设计工具,如 CAD、CAE、CAM 工具等。该系统使用的专用工具是 SDRC 的 IDEAS 和 PTC 公司的 Pro/Engineer 等软件作为 CAD、CAM 工具,MSC 公司的 Patran 和 Nastran 等软件作为 CAE 工具。

曹健^{[60][61]}开发了计算机支持的协同产品开发环境 MCSDM。该系统采用 PDM 和网络数据库作为开发平台,基于 Agent 技术,提供对 CAD、CAPP、CAM 系统的代理,使三个小组的工作人员可以在虚拟的共享空间进行信息的交流和表达。同时该系统提供了用于实时交互的视频、白板、音频等工具和 Email、文件传输等非实时交互工具。该分布式系统支持多个成员在分布式环境中进行协同工作。

从总体上看,国内在协同设计支持环境的开发与应用方面相对于欧美工业发达国家来说还有不少差距。制造领域至今还没有一个可以商业化的协同设计环境,软件开发商也在开发基于 Web 的设计系统和协同设计支持系统方面积极开展工作,并已推出了一批新的商用软件。在这些新软件中,一类是对其原有的 CAD 系统进行扩展,增加基于 WEB 的功能,另一类是重新开发的网络化协同设计支持环境。前者由于是在原有系统的基础上增加了 WEB 的“外壳”,在支持真正的异地异构环境下的设计方面还存在许多问题;后者主要目标是提供协同交流环境,而普遍缺乏常用 CAD 系统的设计和集成信息的功能。

1.2.2 协同设计过程建模的研究现状

在协同设计支持环境下,由于网络上多功能小组工作风格的差异,因而在产品开发阶段经常出现任务规划的重叠和冲突现象。因此,实施协同设计之前必须首先对该协同设计过程进行规划、管理和控制。国内外对协同设计过程的管理进行了不少研究。

Tso^[72]将规则推理和面向对象技术应用到任务分解过程中,并开发了原型系统 ACSST,但 ACSST 只适用于关系比较简单的任务分解,对于高耦合度的子任务分解实现起来则比较困难。

Belthete^[73]提出一种在资源约束下的动态调度方法,采用每隔一个较短时间就进行一次调度的方法,但没有给出如何确定调度时间间隔的方法。

Maurer^[74]采用设计过程显示模型来控制或协调分布式设计过程,该过程模型基于任务、方法、产品和资源四类对象。

Huang G. Q.^[70]提出开发基于 Agent 的工作流管理系统的方法,以方便在 Internet 上进行协同产品开发。将项目的工作流构造成一个网状结构,节点对应于工作包,边对应控制与数据的流向。引入代理的概念来定义节点,引入消息的概念来定义边。该系统有以下几个功能模块:决策支持系统 TeleDSS,为产品开发提供相关的技术支持服务;协同工具 TeleCO TOOLS,为不同团队的同步工作提供支持;WorkFlow 基于网络模型描述产品开发过程;WfBase 存储对工作流的定义;AgentBase 和 AgentBoard 分别存储 Agent 的定义和性质等。