

可重构制造系统

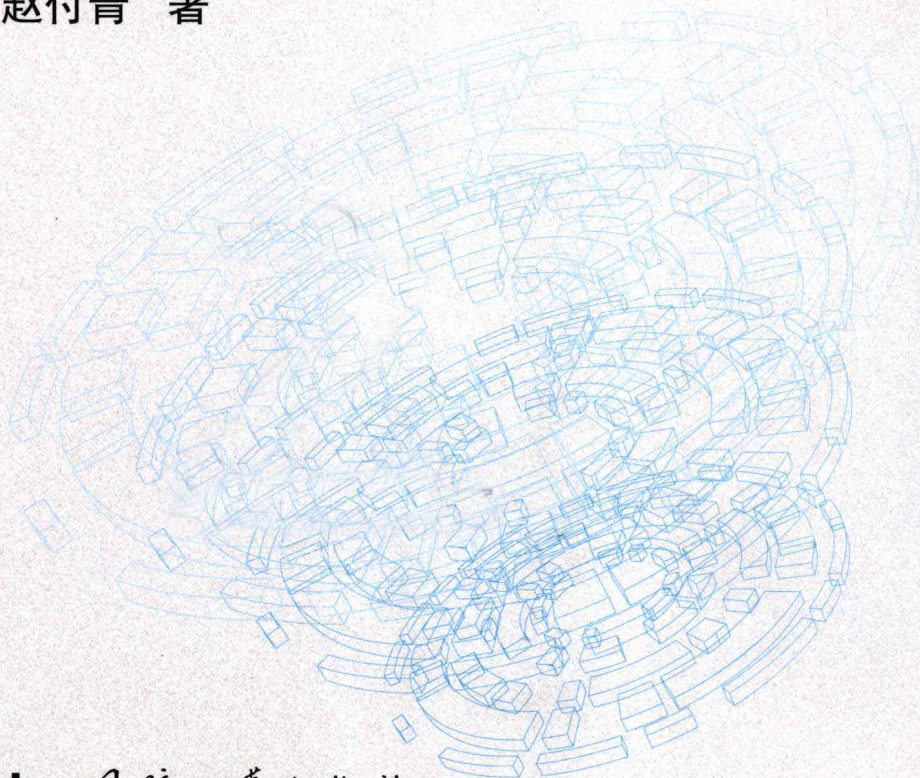
—— Holonic制造系统建模、
优化与调度方法

赵付青 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press



可重构制造系统——Holonc 制造 系统建模、优化与调度方法

赵付青 著

国防工业出版社

·北京·

前 言

新一代制造控制系统的规划和运行控制应当基于一个通用的、可重构的制造控制体系结构,还需要相应的设计方法指导。在制造控制系统中,一个尤为重要的关键问题是资源与任务的调度效率问题。在制造价值定向、制造战略重点及制造指导思想发生转变的情况下,这个问题对于现代制造系统来说变得更为重要了。本书通过引入 HMS(Holonc Manufacturing Systems)制造哲理的概念,对基于 HMS 的制造单元的交互机制、控制策略和算法、系统设计方法及关键使能技术进行研究;重点研究 HMS 系统中资源 Holon 内部的资源与任务的动态调度方法以及与其他 Holon 单元是如何在 HMS 控制系统中进行交互与集成的问题。本书的主要内容和贡献如下。

(1) 制造系统各单元模块基于 Holonic 制造哲理统一模型——动态 Holonic 制造系统(DHMS)的建立。建立基于 Holonic 制造概念、适于离散制造系统控制的体系结构,从体系结构和运行机制上实现制造单元控制结构和控制算法的解耦。通过研究其在制造控制领域中的应用,实现了制造系统单元向 DHMS 单元中实体的映射。

(2) DHMS 系统的分布式决策过程模型及其实现算法。DHMS 系统的任务分配及单元交互过程采用动态虚拟簇的形式。随着进入系统的任务/订单的变化,构成了动态的决策层次;随着任务的不断递归,完成任务/订单与相应资源的匹配。在这个过程中,提出了一个基于协商机制的分布式复杂决策过程,建立了基于 CNP 的任务/订单分级协商策略,并通过任务分配的演化算法对其进行智能决策与求解,为 DHMS 系统提供适用于顾客需求的制造内外部环境。

(3) 基于改进合同网协议的 DHMS 系统动态重调度模型及其求解算法。针对传统制造合同网协议缺乏动态交互及优化能力的问题,引入 MAS 系统中全局双向通信协商与局部自主协商机制与制造合同网集成,建立了基于改进合同网机制的重调度过程,以提高调度 Holon 适应动态环境的实时协调调度能力。详细定义了改进合同网机制的消息描述、策略决策过程、基本调度算法等各个要素。最后,通过对调度 Holon 处理动态环境中典型的任务动态调度问题,并通过仿真实例与纯 CNP 机制进行了比较分析,验证了该机制的有效性。

(4) DHMS 制造网格资源调度模型及其云自适应遗传算法(CAGA)的求解方法。资源调度算法是单元自治决策的引擎。在单元 Holon 任务协调分配后,提出了基于 CAGA 的制造单元自治调度机制,构建了基于 CAGA 的单元自治调度决策模型,实现了制造资源在网格平台下的高效调度。对大型注塑模制造资源调度算例进行仿真的结果表明,CAGA 在平均质量和平均服务方面均优于标准遗传算法和自适应遗传算法。

(5) 基于 DHMS 多目标邻域搜索策略。在 PSO 并行搜索的基础和框架上,合理引入基本问题信息的局部搜索和智能技术,设计了相应的基于 PSO 的混合算法,大量仿真结果和算法比较验证了所设计方法在复杂调度问题上的有效性。

(6) 最后,在 JADE 平台上,设计和开发了综合的原型仿真系统。以 JADE Agent 表述和实现了所定义的 Holon 之间交互和内部自治算法的控制技术,提出了一个基于 JADE 平台的 DHMS 体系结构模型——AODHMS 系统,并对其中 Agent 的建模及学习算法进行了设计与实现。

本书是在著者近年来研究工作的基础上撰写完成的,特别是著者在西安交通大学系统工程研究所、西北工业大学航空宇航科学与技术进行博士后研究工作的经历,使著者对这一领域有了更深入的理解。在此特别感谢西安交通大学的邹建华教授、西北工业大学的王俊彪教授的指导和鼓励。衷心感谢著者单位兰州理工大学计算机与通信学院同事们的大力支持,使本人有更多精力投入到研究工作中,才使这些不很成熟的见解得以面世。

感谢同课题组的唐建新、王吉哲、张自如、赵琴、霍明明等的帮助,感谢家人的关心和支持,还有许多曾经关心过我的朋友们,在此无法一一列出,谨真诚地感谢和祝福他们。

本书的研究成果得到了 2010 年国家自然科学基金(61064011)、中国博士后科学基金会第 47 批博士后基金一等资助(No. 20100470088)、2011 年甘肃省自然科学基金(1114ZSB091)、甘肃省财政厅高校基本业务费(1114ZTC139)、甘肃省教育厅研究生导师基金项目(1014ZTC090)、甘肃省人事厅项目(1014ZSB115)以及兰州理工大学优秀青年教师培养计划(1014ZCX017)的资助,特此致谢。

由于时间仓促,加之著者水平有限,本书难免会有错误和不足,望读者不吝指正。

著者
2012 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 HMS 研究现状	2
1.3 HMS 调度系统	4
1.4 课题研究意义	6
1.4.1 问题的提出	6
1.4.2 研究内容	6
1.4.3 研究意义	7
1.5 拟解决的关键科学问题与方法	7
1.5.1 关键科学问题	7
1.5.2 研究方案及可行性分析	7
第 2 章 动态 HMS	10
2.1 制造系统的演变	10
2.1.1 集中式控制结构	10
2.1.2 递阶分层控制结构	11
2.1.3 改进的分层控制结构	11
2.1.4 分布控制结构	12
2.1.5 Holonic 控制结构	12
2.1.6 Agent 控制结构	13
2.2 国内外 Holonic 制造研究现状	13
2.3 HMS 的参考模型研究	14
2.3.1 Holon 产生的背景	14
2.3.2 Holon 体系的定义	15
2.3.3 Holon 体系的特征	16
2.4 HMS 参考体系结构	19
2.5 HMS 的控制策略	20
2.6 小结	24

第 3 章 动态 Holonic 制造系统参考模型及其实现策略	25
3.1 动态 Holonic 制造系统参考模型	25
3.1.1 模型描述	26
3.1.2 DHMSA 建模技术	28
3.2 系统原型及其实现	30
3.3 基于 DHMS 参考模型的企业流程建模技术	32
3.3.1 企业层次上的系统集成	32
3.3.2 虚拟企业 Holon 的功能和行为	34
3.4 基于 DHMS 参考模型的车间内部工作流程建模技术	35
3.4.1 产品 Holon	36
3.4.2 任务 Holon	36
3.4.3 运行 Holon	37
3.4.4 在线监控 Holon	38
3.5 DHMS 系统的分布式决策过程及实现研究	39
3.5.1 DHMS 系统中任务的分布式决策过程	39
3.5.2 订单/任务单元模型	40
3.5.3 单元 Holon 向 DHMS 系统的映射	42
3.5.4 Holon/Agent 协调算法	45
3.5.5 递阶式的投标和重配置	49
3.6 重构选项的识别、模拟及评估	55
3.6.1 通用配置的识别	55
3.6.2 离散事件的模拟及评估	58
3.7 DHMSA 模型的评价	59
3.7.1 DHVE 的特点	59
3.7.2 基于 DHMSA 模型的 DHVE 的优势	59
3.8 小结	60
第 4 章 基于改进合同网协议的 DHMS 重调度问题的研究	61
4.1 建立基于 MAS 的重调度模型	62
4.2 基于多代理系统的 DHMS 动态调度系统建模	64
4.2.1 Agent 功能设计	64
4.2.2 基于改进合同网机制的重调度过程	70
4.3 Agent 内部的基本调度算法	72
4.4 实验仿真	73
4.5 小结	77

第 5 章 DHMS 制造网格资源调度模型及其云自适应遗传算法	
求解方法	78
5.1 制造网格服务调度问题	78
5.2 资源调度目标模型	79
5.3 资源调度的云遗传算法	80
5.3.1 基本概念	80
5.3.2 正态云的基本生成算法	81
5.3.3 云自适应遗传算法	81
5.4 云自适应遗传算法收敛性的鞅方法分析	83
5.5 基于云自适应遗传算法的资源调度问题	85
5.6 算例及实验结果	86
5.7 小结	89
第 6 章 基于 PSO 算法的 DHMS 系统的动态调度	90
6.1 DHMS 调度结构模型	91
6.2 一种带有线性递减扰动项的粒子群优化算法及仿真分析	93
6.2.1 粒子群算法研究现状	93
6.2.2 粒子群优化算法模型	94
6.2.3 种群拓扑结构	96
6.2.4 算法改进策略	97
6.2.5 对比实验分析	98
6.3 基于 Memetic - PSO 混合算法的多目标车间调度问题	102
6.3.1 多目标 PSO 搜索	103
6.3.2 基于 NEH 的多目标领域搜索	103
6.3.3 基于 DE 的多目标邻域搜索	104
6.4 仿真实验与比较	106
6.5 小结	109
第 7 章 DHMS 原型仿真系统的设计与实现	111
7.1 基于 MAS 的 DHMS 体系结构模型	111
7.1.1 基于 JADE 平台的 DHMS 体系结构模型	111
7.1.2 AODHMS 层次结构	111
7.1.3 运行层	111
7.1.4 系统支撑层	115
7.1.5 基础设施层	115
7.2 AODHMS 系统的实现	115

7.2.1 Agent 的建模	115
7.2.2 任务集建模	116
7.2.3 招标集与投标集	116
7.3 Agent 学习算法的设计与实现	123
7.3.1 基于 CMAC 模型的强化学习	124
7.3.2 CMAC 映射算法	125
7.3.3 CMAC 的输出计算	127
7.4 小结	128
结论	129
参考文献	132

第 1 章 绪 论

1.1 引言

先进制造技术(Advanced Manufacturing Technology, AMT)是一个国家繁荣昌盛的核心基础技术之一,是直接创造社会财富的重要手段,是一个国家经济发展的主要技术支撑。21 世纪,制造业仍将在国民经济的发展中有着重要的战略地位与作用,是国民经济的基础,其发展水平在很大程度上体现了一个国家的综合实力^[1-5]。

在研究历史上,CAx、FMS 和 CIMS(计算机集成制造系统)等制造技术的重点是通过信息技术提高系统的自动化水平,并通过系统集成提高系统的运行效率并降低运行成本。它们都注重对系统功能构成和静态控制结构的研究,适于某种可预测的、相对稳定的经营环境^[6,7]。随着制造环境由静态向动态转变,制造业需要不断更新产品设计,不断改变经营过程和重构制造系统。从系统论的观点出发,虽然可通过协调与控制来减少各种扰动对系统性能的影响,但由于建立在传统组织理论与运筹学基础上的生产计划和调度控制方法都以系统具有稳定的运行环境为前提,因此,它们在理论上和实践上都面临着巨大挑战。

在当今全球制造时代,更加客户化的产品需求和更短的产品生命周期,要求开发更具敏捷性的制造系统,它应当以更快的速度更新其自身,以适应新的技术、产品和组织结构的变化。因此,无论是制造工业界还是学术界,人们都更加重视整个制造系统的优化、自适应性和可靠性等问题。来自制造系统内外的各种扰动是实现系统性能优化的主要障碍,而现有的递阶和分布式制造控制系统都不能在维护系统高效运行的前提下有效地处理各种扰动。因此,加强对新的制造哲理——Holonc 制造系统(Holonc Manufacturing System, HMS)^[8-10]信息模型、优化策略(特别是调度控制策略)的研究,具有极其重要的理论和实践意义,也符合西部大开发中以制造业改造传统产业的发展要求。

另外,我国制造业与工业发达国家的差距主要表现在制造装备落后和生产组织管理技术落后。例如,我国大多数企业的设备仍以普通机床为主,生产组织和管理仍以手工和经验为主。在这种现状下,通过大量的投资更新工艺设备、提高制造工艺水平和自动化程度是不现实的,实际上也没有必要。而在对现有制

造设备采用 PLC 和新型数控技术等,进行低成本、自动化改造的基础上,改变企业现有的组织和控制结构,通过合理、有效地组织、管理和使用现有制造资源,在一体化的全球市场经济竞争中增强我国企业和环境的适应性、开放性、自组织和创新能力,实现制造系统的整体优化,以使用较少的投资获取较高的效益。因此,如何利用各种先进制造的理论、技术和方法实现对我国传统制造业的改造,以提高我国企业的市场响应能力具有十分重要的现实意义。其研究结果对提高现有制造企业的组织与生产效率,使我国从制造业大国向制造业强国转变具有重要的应用前景和社会价值。

从制造控制的角度来看,随着信息技术的迅猛发展,制造控制系统已从基于主机的集中式递阶控制发展到基于分布式工作站和客户/服务器(C/S)结构的分布式控制和网络化制造,实现了计算机支持的协同工作环境(CSCW)^[11,12]、异地设计/制造和虚拟制造等^[13,14]。自动化制造系统已从单机自动化和刚性自动化生产线发展到单元柔性制造,并进一步向智能代理规划和控制的智能制造发展。从制造组织和管理的角度来看,自从 M. Hammer 和 J. Champy 提出经营过程重组(Business Process Re-engineering, BPR)的思想以来,企业重组已成为席卷全球的改革浪潮。

在此背景下,为了更好地满足未来制造环境的要求,HMS、分形企业(Fractal Company)^[15]、仿生制造(Bionic Manufacturing)^[16]和生物型制造(Biological Manufacturing)^[17]等都从各自独特的角度来研究制造系统的优化设计与运行控制。虽然它们的出发点不同,但其共同点在于都认为制造系统应当由一些基本的,具有自治性、协作性和动态性的智能实体组成,如 Holon、分形(Fractal)和生物单元(Modelon)。它们能在动态制造环境中自主决策,并通过交互和协调有效地处理系统扰动,适应各种变化,获得系统的自适应、自组织、重构和进化的能力。问题在于这些新的制造概念是否可行?是否可以利用现有的技术来实现?怎样基于这些关于制造控制的新的概念和思想进行制造系统的规划设计和运行控制?因此,很有必要对相关的制造系统构造和控制的理论、技术和方法进行全面的和深入的研究,这也是本研究的理论意义所在。

1.2 HMS 研究现状

Holonc 制造系统(Holonc Manufacturing System, HMS)作为一个国际性的研究项目,是国际智能制造系统(IMS)研究六个项目中的第五项,称为“Holonc 制造系统:自治的模块化系统元件及其分布式控制(Holonc Manufacturing Systems: System Components of Autonomous Modules and Their Distributed Control)”^[8],是针

对未来制造系统的要求和现有制造系统的弱点而提出的体系结构。HMS 具有分布式的系统结构和决策职责,通过制造 Holon 间的协调来实现系统重构和优化,是适于敏捷制造环境的制造模式^[9,10,18,19]。HMS 涉及制造 Holon 的定义、Holon 系统体系结构、Holon 间的协调机制、Holon 制造调度、调度执行以及系统执行效率等问题。

世界上较早开展 Holonic 制造系统的研究始于 IMS 研究六个项目的第五项^[20],它包括以下方面的研究内容:

- (1) 21 世纪的用户需求;
- (2) 下一代制造系统的关键因素;
- (3) 测试平台;
- (4) 测试台基准。

这涵盖了 Holonic 加工系统、Holon 装配站、系统优化、AGV 任务控制、钢冷轧机控制 Holon 五个项目。这些项目对 Holonic 制造和传统的制造系统的性能从概念到原型系统都进行了比较^[21,22]。

当前的 Holonic 制造的研究主要是针对 Holon 体系结构、Holon 之间的协作、Holon 控制系统的研究。比利时的 Van Brussel 教授和 Jo Wyns 等人提出了 PROSA 参考体系结构^[23,24],将制造系统归纳为三方面的内容:资源、产品及工艺信息、订单,并建立了相应的 Holon。Holon 之间的协作主要有基于合同网的分布式求解策略^[25]和基于拉格朗日松弛法的近似全局最优方法^[26]。在控制系统方面有 Gilad Langer 提出的基于 PROSA 参考体系结构的 HoMuCS (Holon Multi-cell Control System) 通用控制结构^[27],采用了统一建模语言 (Unified Modeling Language, UML) 定义了 Holon 的功能模型和交互方法。Leitao Paulo 提出了关于 Holon 控制的基本思想及其在制造系统中的实现技术,即在分布式控制中引入了层次结构 (Hierarchy in Distributed Control, HDC)、分布式决策 (Distributed Decision Power, DDP)、并行的调度和调度执行 (Concurrent Scheduling and Schedule Execution, CSSE)^[28]。

就实际应用而言,由于 HMS 和 CIMS 一样,首先体现着一种制造哲理和理念^[29-31],它将新的理论、方法和技术融入到原有系统中。目前,在国外 HMS 还没有真正用于实际的生产系统,其应用尚处于探索阶段^[32]。已经建立的应用试验系统主要有 Valckenaers 等建立的系统优化测试平台,包括四台机器人和传输系统。该系统可以同时装配两种不同的产品^[33]。Heikkia 等用两台工作站建立了以机器人加工单元为背景的计算机仿真系统^[34]。Tamaya 等在 Maho 机床 (MH 600C) 上开发了具有 Holon 特性的机床控制器^[35]。关于 HMS 中各基本单元之间的交互、通信及各单元内部的自组织、自适应机制的研究多限于理论和仿

真系统的研究^[36-38]。

国内对于 Holonic 制造的研究始于浙江大学的唐任仲等 1998 年发表于中国机械工程第六期的文章《基于 Holon 制造原理的低成本自动化制造技术》^[39], 到目前已有十余年的研究历史。国内学者就 Holonic 制造哲理、系统参考模型、制造单元模型构造、系统优化算法等做了大量的工作。沈阳自动化所的王成恩、南京理工大学的袁红兵、南京航空航天大学的王岩等对 Holonic 制造原理和概念进行了研究^[40-42]。巢炎等^[43]基于 HMS 模型,研究了基于 Holon 的工艺系统体系结构,并探讨了体系结构的运行机制。赵普等^[44]对 HMS 的模块进行了分析与设计,并对一个实际的小型柔性制造系统进行了基于 Holonic 制造参考模型的构造。陈庆新等^[45]提出了基于包含 Holonic 过程模型的开放式 HMS 体系结构,并对制造网格环境下多项目运行的仿真系统进行了建模、分析及评价。安蔚瑾^[46]提出了基于 Holon 思想的全过程制造执行系统的功能和结构模型,并以某光纤生产企业为研究对象,初步建立了可集成的全过程制造执行系统。黄雪梅等^[47]研究了基于 Agent 与 Holon 智能制造思想体系的可重构生产线制造系统实现技术。

1.3 HMS 调度系统

众所周知,实际生产中很少使用一些高性能的调度方法,主要原因是:①调度的计算复杂性使得很难在线提供近优调度;②调度鲁棒性差,对干扰很敏感。如果发生干扰,很难再继续执行系统所提供的调度。

Holonic 控制结构是在分布控制结构的基础上结合分层控制结构的特点而提出的新型结构方案。其目的在于使系统在具有集中控制系统的可测性、稳定性和全局优化等优势的基础上融入分布系统的鲁棒性、柔性等特点。Holonic 控制提供给模块以自治的权限,使系统对干扰具有快速响应的能力,并为制造系统提供了面临新的需求重新进行构造的能力。它同时还允许模块集成,以构成更大规模的系统。

Holonic 控制系统中的核心模块是 Holonic 资源分配,其功能包括资源规划功能(调度)和资源规划执行(调度执行)。目前,有关 Holonic 资源分配的研究主要侧重于具有 Holonic 特性的调度和控制算法的研究^[48,49]。有些学者提出了能够很好地响应干扰的混杂控制^[50,51],但是其性能和可预测性较差。还有一些学者则转向响应式调度的研究,由于对响应时间的限制,往往采用一些性能较差的、快速的调度算法,如基于规则的调度算法^[52,53]。

由于生产中存在各种干扰,导致已生成的调度很快失效,很难达到预期的调

度性能。因此,目前大多数学者都注重对响应式调度的研究^[54-56]。响应式调度是处理具有动态性和随机性特点调度问题的技术。环境中的所有随机因素都可以被看作是干扰,如机床损坏、不可预测的加工偏差等,也包括建模的不精确性。

近年来,又出现了分布式调度技术^[57,58],它是指调度算法分布在许多 Agent 中,组合 Agent 的计算能力和局部知识以优化全局性能。分布式调度的特点是并行计算、软件结构简单以及具有自动响应干扰的能力。许多学者都在研究能够更好地响应干扰的分布式调度算法。P. Leitaó 和 F. Restivo^[59]通过将调度功能分散到制造系统的其他组成单元,利用这些单元的计算能力和局部优化,将调度机制动态地与优化调度结合起来,提高了调度的响应性和鲁棒性。之后,P. Leitaó 又提出了分布式的调度干扰处理方法,引入了 HMS 的预测管理策略来解决 HMS 的重调度问题^[60]。A. Madureira 和 J. Santos^[61]通过将制造资源映射为 MAS 系统中的单个 Agent,利用 Agent 的动态协商和自然显现性能,结合 Meta-Heuristics 算法的演化能力,实现了制造系统的分布式调度问题。K. Iwamura^[62]等通过资源 Holon 对资源的设备可利用值进行评估,之后通过 Job Holon 和 Resource Holon 的在线匹配和强化学习,实现了 HMS 的实时在线调度。T. Borançiu^[63]等提出了一种基于 PROSA 框架的 Holonic 制造调度、控制和跟踪方法,将调度和控制系统集成在一起,提高了调度决策效率,但降低了系统抗干扰的能力。F. B. Marin^[64]等通过参数化的最优工作循环调度软件来简化数控系统结构,同时提高了在线加工过程的调度优化性能,但对实际制造系统的工作状况做了极大的简化,与实际制造系统的运行情况相差较大。P. Renna^[65]通过增强分布式制造系统中各制造单元的内部和外部计算能力,来提高单元式制造系统的调度能力,但缺少对系统全局调度性能的评估和分析。H. T. N. Nejad^[66]等利用多 Agent 系统结构将制造工艺计划和调度集成起来,实时在线提取制造系统状态及外部不确定干扰,提高了柔性制造系统的调度鲁棒性,但同时也导致了制造控制系统和控制算法高的耦合性。S. Raileanu^[67]提出了一种将动态调度任务划分成包括任务建议层和任务执行层的双层结构。在任务建议层向任务执行层发送控制建议,在任务执行层具体实现对任务建议层提供的建议进行评估,择优执行。在提高系统调度控制性能的同时,也导致了两层之间技术性因素和非技术性因素高的耦合性。V. Kats 和 E. Levner^[68]研究了具有固定的服务移动机器人和相同加工时间的 m 个生产相同产品的生产线,为双循环机器调度问题提出了一种快速调度算法。J. Gong^[69]等将分布式任务到达时间控制系统应用于实时动态调度系统中,结果表明此调度控制系统可以提高制造系统的稳定性。R. F. Babiceanu 和 F. F. Chen^[70]实现了一种非集中 Holonic 物料处理和调度方法,提供了一种将最具有竞争优势的执行单元实时提供给调度系统的策略。

1.4 课题研究意义

1.4.1 问题的提出

从以上资料可以看出已有的工作主要集中于如下几个方面：

- (1) Holonic 制造原理的研究；
- (2) HMS 的参考模型的构造和描述；
- (3) HMS 中基于 Holon 的交互机制、交互模型及其仿真技术；
- (4) HMS 中基于 Holon 智能制造思想的全过程制造执行系统。

而对于如何通过 HMS 单元的运行机理、决策逻辑、交互机制及 Holon 控制策略来对制造控制系统和运行在其上的控制算法解耦,以此来提高单元重组的效率还没有深入的研究,所提出的一些方法也多是对实际制造系统极大简化的基础上得出的。对于制造系统的调度策略多数是直接引入分层集中式控制系统中的模型和求解算法,对实际生产过程中的系统运行状况和约束条件进行了很大的简化,很少考虑急件、机器故障、订单临时取消等异常调度的情况。

1.4.2 研究内容

本课题针对上述研究问题,拟从如下几个方面展开工作：

(1) 建立基于 Holonic 制造概念、适于离散制造系统控制的体系及单元结构,实现制造系统单元向动态 Holonic 制造系统单元中实体的映射,从运行机制上实现控制结构和控制算法的解耦。

(2) 在明确的约束背景下建立系统的任务调度及决策的多目标数学模型。对 PSO (Particle Swarm Optimization)、DE (Differential Evolutional)、SEC (Shuffled Complex Evolution) 等启发式算法对该类问题解决过程中的编码、映射、操作过程等建立统一的理论框架,该过程应考虑生产成本、到期时间、生产设备的利用率及不确定的系统干扰等因素。

(3) 构造实现 DHMS (动态 Holonic 制造系统) 系统的通用平台,设计和开发综合的原型仿真系统。在此系统中表述和实现所定义的 Holon 之间交互和内部自治算法的控制技术,并对其中单元的建模及学习算法进行设计与实现。

通过本课题的研究,实现多维强约束条件下调度 Holon 的在线调度问题,为系统的未来状态提供智能的调度方案。解决静态系统调度中过分依赖当前状态数据、系统敏捷性差等普遍存在的问题。

1.4.3 研究意义

通过对相关的制造系统控制和调度的理论及方法进行全面和深入的研究,以此来指导对现有制造设备采用 PLC 和新型数控技术等进行低成本、自动化改造,改变企业现有的组织和控制结构,通过合理、有效地组织、管理和使用现有制造资源,在一体化的全球市场经济竞争中增强我国企业和环境的适应性、开放性、自组织和创新能力,实现制造系统的整体优化,以使用较少的投资获取较高的效益。这项研究对提高我国企业的市场响应能力和运行效率具有十分重要的理论意义和现实意义。

本课题的研究成功,对制造系统的控制、优化调度理论与应用、最优化方法和智能系统理论在制造系统中的应用等学科方向将起到推动作用,其结果将为现代制造系统、柔性制造系统的动态重构及智能决策提供指导和借鉴。

1.5 拟解决的关键科学问题与方法

1.5.1 关键科学问题

(1) 制造系统各单元模块基于 Holonic 制造哲理统一模型的建立。建立基于 Holonic 制造概念、适于离散制造系统控制的体系结构,从体系结构和运行机制上实现制造单元控制结构和控制算法的解耦,并着重研究其在制造控制领域中的应用,实现制造系统单元向动态 Holonic 制造系统单元中实体的映射。

(2) 明确约束背景下 HMS 的实时任务调度及决策数学模型的建立,包括系统状态稳定、异常运行状态两种情况。该模型的建立应充分考虑生产成本、到期时间、生产设备的利用率及不确定的系统干扰等因素。

(3) DHMS 系统各单元功能与算法向系统仿真与集成平台的一一映射问题。通过引入 JADE 平台,实现 DHMS 各单元向多 Agent 系统中各 Agent 单元的映射,通过 Agent 系统提供未来状态下的智能调度及决策。

1.5.2 研究方案及可行性分析

本研究课题将采用计算机建模仿真和理论分析相结合的方法。一方面,针对现有制造系统中系统结构和控制算法耦合度过高的问题,通过 Holonic 参考模型对制造单元的能力模型、需求及控制模型进行形式化的描述,使整个制造单元运行在一个统一结构的系统平台下,同时完成在该平台下基本制造单元基于 Holon 的功能描述;另一方面,建立在订单、资源及工艺等约束条件下任务调度

的数学模型,通过仿生计算方法对该多目标强约束问题进行数值求解和定性分析。同时在对模型求解过程中,拟从计算算法本身出发,证明所使用的算法是一个有限状态空间($S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$)的随机过程($X_0, X_1, X_2, \dots, X_k$)、 P 为一个 $k \times k$ 的转移概率矩阵 $\{p_{i,j}; i, j = 1, \dots, k\}$, 利用随机过程理论来分析算法的收敛性和收敛条件。在此基础上建立仿生计算的典型方法如 SCE、DE 等 Meta-heuristic 算法针对智能调度决策优化问题的决策空间、问题映射、编码方式及求解效率的算法框架。最后将上述模型及求解算法统一进行映射,映射为 JADE 平台中各 Agent 的具体封装功能,由外部环境及内部单元进行调用,通过 Agent 的自学习及计算能力建立动态调度 Holon 的在线状态预测模型并对其进行求解,并根据实际系统中标准的测试结果和计算所得到的调度试验结果,验证模型的准确性。

具体的技术路线如图 1.1 所示。

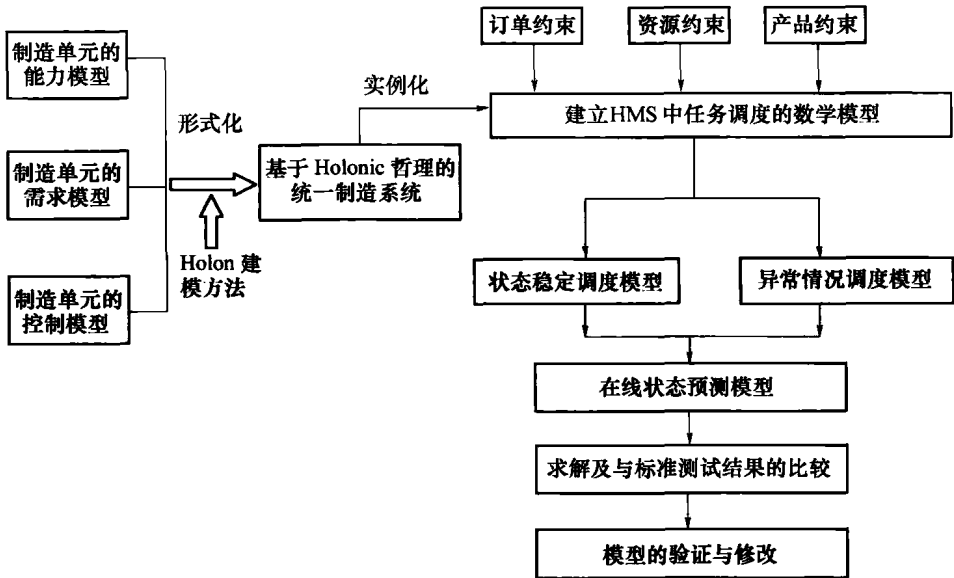


图 1.1 技术路线图

在 Holonic 制造单元建模中,本课题将吸收 Agent 研究的成果,扩展 Agent 的表达空间与表达内容,通过统一的 Holon 建模方法,采用面向语义 Web 的 Holon 及 Agent 通信语言 DAML 描述具体的交互及通信过程;同时拟将制造本体引入到 DHMS 的基本 Holon 知识表达及通信机制中,并将多种描述内容语言纳入一个统一的通信框架中,探讨制造本体用于基本 Holon 间通信内容翻译的方法。采用 DAMLS 作为 HMS 系统中 Holon 的能力描述语言,实现具体 Agent 及

Holon 的能力匹配算法,建立面向语义 Web 的企业能力模型,根据领域模型与本体逐步建立系统需求模型、组织与交互模型、个体模型等。从系统模型、模型表达方式及模型的转换技术来看,技术路线是可行的。

HMS 的调度需要考虑系统运行状态稳定条件下的调度策略,还需考虑系统异常情况下(包括急件、机器故障、订单临时取消、任务延迟等)的计算模型和调度策略。在系统运行状态稳定的条件下,建立调度模型时,要考虑系统中的订单、资源及工艺等约束条件的影响,课题组成员将采用数学规划方法对各个指标进行量化。由于调度问题的计算模型是非线性强约束的计算问题,经典的计算方法对该问题将无能为力,所以,拟采用仿生计算算法(如 PSO、DE 等 Meta-heuristic 算法)对其进行求解。从建模方法和模型求解算法来看,技术路线是可行的。同时将研究采用仿生计算算法对智能调度决策优化问题的决策空间、问题映射、编码方式及求解效率的统一算法框架。

总之,在 DHMS 的建模与分析中,课题组成员将把不同视角层面的模型结合起来,从语义、信息交流和统一性方面进行分析。在优化计算方面,有遗传算法、进化规划、粒子群优化算法、蚁群算法等应用的成功经验,这对问题求解有重要的帮助。