

多智能体计划调度系统的 理论与应用

卢虎生 朱林 高学东 著



冶金工业出版社
<http://www.cnmp.com>

多智能体计划调度系统 的理论与应用

卢虎生 朱 林 高学东 著

北 京
冶金工业出版社
2003

图书在版编目(CIP)数据

多智能体计划调度系统的理论与应用/卢虎生等著. 北京:
冶金工业出版社, 2003. 12

ISBN 7-5024-3384-8

I. 多… II. 卢… III. 人工智能—应用—调度 IV. F273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 097591 号

出版人 曹胜利 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 张卫 李培禄 美术编辑 李心

责任校对 王贺兰 责任印制 牛晓波

北京铁成印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2003 年 12 月第 1 版, 2003 年 12 月第 1 次印刷

850mm×1168mm 1/32; 5.625 印张; 120 千字; 168 页; 1-3000 册

19.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

本书得到内蒙古自治区
高等学校科学研究项目资助

(NJ02112)

前

言

生产是人类的基本活动,是一切社会财富的源泉。本书阐述的计划调度系统是生产企业的重要组成部分,是生产活动的指挥中心。由于信息技术的发展和经济全球化等许多因素的影响,普通的计划调度系统已无法继续满足现代企业的要求。为此,书中较系统全面地阐述了多智能体计划调度系统的理论和应用问题。

全书共分8章。第1章为概述,介绍多智能体计划调度系统的主要特点和理论体系。

第2章介绍普通计划调度系统的基本理论和方法。该章首先介绍了计划和调度的概念,以及计划和调度、计划和控制之间的联系;其次介绍了在规划企业计划调度系统时应该考虑的因素;最后介绍了计划调度问题的求解方法。

第3章介绍多智能体系统,包括智能体和多智能体的概念、产生的基础和发展的过程,以及智能体模型、智能体求解机制、通讯语言和主要应用。

第4章叙述多智能体计划调度系统的体系结构。

第5章主要阐述最大利润流算法和流量为零或介于非零上下界之间的二态组合约束最小费用流算法。该算法可求解生产计划问题,并可作为多智能体计划调度系统中的全局静态优化模块。

第6章在介绍任务委派和联盟组建后,综合了生产和存储两个方面,以一台主体设备和相应的产品库存组成的单元为研究对象,分析了推拉并行生产优化模式。该模式不仅在一些企业中存在,而且还可将通常采用的推进和牵引等生产模式看做它的特殊情形。

第7章介绍在作业计划的执行过程中,必须应对的设备故障、订单事件和质量事故及其处置方法。

第8章基于证券理论和多智能体理论与方法,提出了各产品间旨在降低企业资源配置风险的横向协商协议和上下游工序间旨在有计划地降低生产成本、抑制长鞭效应的纵向协商协议。

本书得到了内蒙古自治区高等学校科学研究项目的资助(NJ02112),在此表示衷心的感谢。本书在编写过程中参阅了大量的文献(已列于书后),在此也向国内外有关作者表示感谢。

本书适合于生产管理和多智能体系统领域的科研人员阅读,也可作为相关领域博士生、硕士生和本科生的教学参考书。

由于作者水平所限,书中如有不妥之处,敬请读者批评指正。

作 者

2003年9月



卢虎生，1964年生，山西平定人，博士，内蒙古科技大学副教授。1983年获包头钢铁学院钢铁冶金专业学士学位后，留校任教至今。

在工作期间，两次考入北京科技大学，分别于1991年和2003年获钢铁冶金专业工学硕士和控制理论与控制工程专业工学博士学位。主要从事炼铁理论、工艺及计划调度系统的教学和研究工作，三次获省部级教学成果奖，参加三项国家重点攻关项目，发表论文20余篇。



朱林，1956年生，内蒙古科技大学信息工程学院副教授。1982年毕业于大连理工大学电子工程系，先后在包头稀土研究院、内蒙

古科技大学从事信息工程的科研和教学工作。负责过多项稀土生产工艺在线分析与自动控制系统的国家“八五”、“九五”攻关课题，发表论文10余篇。



高学东，北京科技大学管理学院管理科学与工程系教授，博士生导师，系主任。1983年毕业于南开大学数学系控制理论专业，1993年于白俄罗斯大学应用数学与信息系获博士学位。自1984年开始从事信息系统的教学、科研和开发工作，在国内外发表论文40余篇。社会与学术兼职有：北京市青联委员，北京运筹学会副理事长。

目

录

1 概 述	1
1.1 引入智能体技术的必要性	1
1.2 多智能体计划调度系统的特点	3
1.2.1 系统特点	3
1.2.2 技术路线	4
1.3 多智能体计划调度系统的理论 体系	6
1.4 多智能体计划调度系统的开发 现状	9
2 普通计划调度系统	10
2.1 计划与调度的概念	10
2.1.1 计划问题	11
2.1.2 调度问题	14
2.1.3 计划与调度问题的融合	18
2.1.4 计划与控制的融合	20
2.2 企业计划与调度系统的规划	21
2.2.1 行业竞争因素	22
2.2.2 企业的优势与劣势	27
2.2.3 基础设施的建设	29
2.3 计划调度问题的主要求解方法	32
3 多智能体的基本理论	36
3.1 多智能体的基本概念	37

3.1.1	智能体的定义与发展	37
3.1.2	多智能体的定义与发展	39
3.2	智能体模型	42
3.2.1	逻辑学方法	43
3.2.2	经济学方法	46
3.3	多智能体求解机制	47
3.3.1	多智能体问题求解	47
3.3.2	理论基础	50
3.3.3	智能体组织	52
3.3.4	协商和协调机制	53
3.3.5	合作机制和任务分配	54
3.3.6	个性与社会性	54
3.4	智能体通讯语言	55
3.5	多智能体系统的应用	57
3.5.1	经济方面	57
3.5.2	军事应用	58
3.5.3	机器人足球赛	58
4	多智能体计划调度系统的参考结构	60
4.1	系统组成	60
4.2	智能体之间的协作关系	64
4.3	智能体的内部结构	66
5	编制生产计划	69
5.1	生产计划的主要内容	69
5.2	最大利润流算法	73
5.2.1	最大利润流的数学描述和基本性质	74
5.2.2	利润增广路定理和算法	77
5.2.3	计算实例	79

5.3	二态组合约束最小费用流算法	82
5.3.1	问题描述与最优判据	82
5.3.2	二态组合约束最小费用流算法及复杂性 分析	84
5.3.3	计算实例	88
5.4	生产计划的灵敏度分析	91
5.4.1	生产计划的5种情形	92
5.4.2	需求量变化的灵敏度分析	93
5.4.3	成交价格变化的灵敏度分析	94
5.4.4	生产能力变化的灵敏度分析	95
5.4.5	生产成本变化的灵敏度分析	96
5.5	应用实例——某冶金企业生产计划问题的网络流 描述与求解	97
5.5.1	问题描述	97
5.5.2	计算实例	98
6	编制作业计划	103
6.1	任务委派	104
6.1.1	直接委派	104
6.1.2	并列委派	105
6.2	联盟组建	107
6.3	生产存储的协同优化	108
6.3.1	问题的提出	108
6.3.2	离散计量产品的生产存储协同优化	112
6.3.3	连续计量产品的生产存储协同优化	121
6.3.4	推拉并行与推进和牵引的关系	128
7	执行作业计划	131
7.1	设备故障诊断与处置	131

7.2	动态订单事件的处理	132
7.3	质量跟踪与处置	133
7.4	冲突消解	134
8	生产作业的优化控制	137
8.1	全局动态优化的必要性和可行性	137
8.1.1	横向优化	138
8.1.2	纵向优化	139
8.2	各产品间的均衡优化协议	140
8.2.1	成品库存的投资利润率与方差	142
8.2.2	均衡配置成品库存的优化目标和 约束条件	144
8.2.3	求解方法	144
8.2.4	均衡配置成品库存的协商协议	145
8.2.5	算例	149
8.3	上下游工序间的均衡优化协议	156
8.3.1	优化的目的和方法	157
8.3.2	自主调节的意图	157
8.3.3	自主调节最优效果的判断方法	158
8.3.4	自主调节优化协议	159
8.3.5	激励使能调节	160
	参考文献	162

1 概 述

本书简要地介绍了运用多智能体技术在开发与部署计划调度系统时所涉及到的理论与应用问题。生产是人类最基本的社会活动,因而组织与协调生产过程的计划调度系统,一直是一个广为关注的研究课题。本书引入20世纪末发展起来的多智能体技术,全面阐述了新时期计划调度系统的若干热点问题。

本书得到了内蒙古自治区高等学校科学研究项目的资助(“流程工业多智能体动态调度系统的开发”,批准号为NJ02112),书中介绍了项目的研究成果,同时也引用了大量国内外的相关文献。

本章是全书的绪论,主要介绍多智能体计划调度系统的特点和理论体系。

1.1 引入智能体技术的必要性

计划调度系统作为企业生产运作的中枢,一直在生产活动中发挥着不可或缺的作用。但随着信息技术的不断升级、经济全球化和知识经济的蓬勃发展,企业对计划调度系统的要求越来越高,导致普通的计划调度系统已不能再继续满足新形势下生产企业的需要。在新的形势下,企业拥有的加工设备、运输设备等“硬”资源的作用逐

步减小,而信息设施、企业智能等“软”资源的作用逐步变大,计划调度系统的地位相应地得到了大幅提升。

除了计划调度系统相对于“硬”资源在企业利润来源中的份额不断增大,因而对计划调度系统的有效性、可靠性提出了更高的要求外,市场对计划调度系统的其他性能也提出了日趋苛刻的要求。例如:(1)随着生活节奏的加快,人们希望交货期逐渐缩短,导致企业除了采取一些常规措施外,还必须采用并行工程等新的理念,使产品设计、原料采购、加工、运输等过程尽可能同步完成;(2)随着科学技术的发展和人类拥有财富的增加,人们对产品个性化的要求变得十分普及,相应地要求企业必须具备足够的柔性,以适应生产批量的降低和生产品种的频繁更替。当生产工艺存在较大的启动调整成本时,尤其当存在与次序相关的启动调整成本时,计划调度系统将面临着十分严峻的挑战;(3)人们对能源和环保问题的关注,导致资源的有效利用和资源的重复利用成为企业生产管理过程中必须重视的课题,从而进一步加剧了问题的复杂性。

正是上述生产企业对于计划调度系统敏捷性、柔性和环保等方面的要求,使得普通计划调度系统无法满足需要,同时让普通计划调度系统的开发方法也受到了挑战。在这种情况下,多智能体技术成为一种自然的选择。

多智能体是分布式人工智能的一个重要分支,也是20世纪末问世的一种极具潜力的、可解决复杂问题的新模式。鉴于人类的智能往往具有社会性,因此智能体拥有自主(个性)和社会性两个重要的特征。另外,多智能体系统从人类经济活动中吸取了许多成熟有效的机制和

规范,因而能够适应像市场那样动态和开放的求解环境。多智能体系统在计划调度领域的成功应用是智能体技术的一个重要进展。

1.2 多智能体计划调度系统的特点

普通的计划调度系统一般基于运筹学算法,包括生产计划、作业计划、生产控制等主要内容。运用多智能体开发的计划调度系统也具备普通计划调度系统的所有功能,但在实现方法和运行性能方面有本质的区别。

1.2.1 系统特点

一般来说,多智能体计划调度系统不像普通的计划调度系统那样由生产计划、作业计划、生产控制等生产管理的功能模块组成,而是由生产流程中各功能单元所对应的智能体组成。例如,运用多智能体技术开发的钢铁企业的计划调度系统,一般由选矿、造块、炼铁、炼钢、连铸、轧机等智能体组成。普通计划调度系统中的生产计划、作业计划等模块涵盖了所有的生产工序和主体设备,而多智能体计划调度系统中的智能体则承担了该工序(或主体设备)从计划到控制的全部功能。可见,两者的结构存在着本质的区别。

体系结构对于软件系统的运行性能有着重要的影响。多智能体计划调度系统的这种体系结构,提高了系统应对突发事件的敏捷性,适合于动态的求解环境。当发生只涉及个别智能体的外部突发事件时,由于智能体的相互独立性,它们可以快速地做出响应。另一方面,这种体系结构也便于自主处置像设备故障、质量事故等内

部突发事件。但也必须注意到它的反面,由于一个智能体的能力和资源是有限的,因此当它处置影响面广、难度大的突发事件时,会因力不从心而耽误最佳的时机。可见,敏捷是重要的,但有时会“欲速则不达”。

传统的软件系统中,模块之间只有调用的关系,不存在利益划分,不存在交易关系;但智能体拥有自己的目标和自己的利益,它是自主的,也是自利的。在智能体系统中,各个智能体独立完成作业或者通过协商合作完成作业以实现各自的目标或最大化各自的效用,智能体的社会体系则仅仅通过制定规范来保持局部目标和全局目标的相容。因此,当智能体系统中增加或减少一个智能体时,就像市场中增加一个买主或减少一个买主那样,智能体社会只需调整社会规范或者根本连社会规范都无需调整,即可保持系统的正常运行。可见多智能体系统具有动态重组的基础,也就是说,多智能体系统具有柔性。

计划调度系统只有具有动态重组的能力,才能适应企业资源的动态重组与动态配置,才能满足现代企业的需要。另外,智能体是通过交易来明确和调节它们之间依赖关系的(工序之间/主体设备之间),因此当系统的组成发生变化时,系统的结构也会自动做出调整。同样地,也必须注意到智能体柔性的反面,它降低了整个系统的效率,尤其当局势波动且趋势不明朗时,智能体会“患得患失,举棋不定”。

1.2.2 技术路线

智能体在实现生产管理各功能时的方式与传统软件存在较大区别,所开发出的系统即便在动态和开放的环

境中,也可显示出敏捷性和柔性等较传统软件优越的特性。多智能体计划调度系统的技术路线可以简单地归纳为以下 3 个方面:

(1)将复杂问题抽象成由许多智能体组成的一个柔性系统。这一方面分散了系统的计算复杂性,从而提高了敏捷性和局部集成的能力;另一方面,利用智能体之间可动态重组的特点,提高了系统的柔性。

随着科学技术的发展、人们生活水平的提高和人类对能源与环境的关注,生产企业的优秀标准近乎于“又让马儿跑得快,又让马儿不吃草”的境地。由此,在价格和质量竞争的基础上,生产系统的柔性和敏捷性成为企业的必备特性。多智能体计划调度系统较好地解决了这一难题。

(2)借鉴市场机制和市场规则,调和局部目标和全局目标之间的矛盾。一般来说,局部目标和全局目标之间总是存在着这样或那样的差异,因此获得了局部最优并不意味着达到了全局最优。但是,随着问题规模的扩大和复杂性的提高,寻求全局最优解又是一件几乎不可能的事情,而往往只能违心地用满意解来代替。市场机制和市场规则是经济活动中不断进化形成的一个成熟有效的模式,它在绝大多数情况下,可保持局部目标和全局目标的相容。多智能体计划调度系统就是借鉴市场机制和市场规则,来实现各智能体目标和系统目标的相容。

(3)利用智能体自利和永不满足的特性,实现局部的动态优化。自利是实现局部优化的愿望,永不满足是实现动态局部优化的动力。智能体的这两个特性,促使智能体积极主动地、坚持不懈地追求自己的目标——达到