

普
华
经
管

正略钧策
ADFAITH

企业生产调度的 智能优化方法

柳
毅
◎
著

QIYESHENGCHANDIAODUDE
ZHINENGYOUHUAFANGFA



 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

企业生产调度的 智能优化方法

柳 毅 著

人 民 邮 电 出 版 社
北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

企业生产调度的智能优化方法 / 柳毅著. —北京: 人民邮电出版社, 2008.12

ISBN 978-7-115-18921-9

I. 企… II. 柳… III. 企业管理—生产调度—人工智能—最优化算法 IV. F273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 150895 号

内 容 提 要

本书详细阐述了微粒群算法和 DNA 遗传算法等新型群体智能优化算法的基本原理, 以及在 Flow-shop、Job-shop 型生产调度问题、带约束条件的模糊交货期流水车间调度问题和半导体生产调度问题上的研究应用。本书在分析比较各种典型生产调度问题特点的基础上, 研究了不同调度算法在这些生产调度问题中的应用, 通过对实际生产调度问题的仿真实验, 并将仿真结果进行分析和比较, 得出了有效和实用的改进算法, 为企业生产运作管理提供了科学的指导方法。

本书适合管理专业或计算机专业的本科生和研究生以及生产调度人员阅读。

企业生产调度的智能优化方法

◆ 著 柳 毅

责任编辑 许文瑛

执行编辑 张国良

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

北京铭成印刷有限公司印刷

◆ 开本: 700×1000 1/16

印张: 11.5

2008 年 12 月第 1 版

字数: 200 千字

2008 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-18921-9/F

定价: 25.00 元

读者服务热线: (010)67129879 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

序

随着市场竞争的日趋激烈，制造业面临着许多全球性问题，如制造资源日益匮乏、产品的多样性、生产周期缩短等。如何运用有限的资源降低产品的生产成本、缩短制造周期，保证及时交货，提高企业信誉，赢得更多的客户，成为制造企业在竞争中生存的重要条件。因此，每个企业都在寻求好的生产运作管理方式以提高企业的生产经营和管理效率，从而提高企业的竞争力。

企业的生产调度问题是涉及运筹学、应用数学、人工智能学以及计算机科学等学科的综合性问题。作为制造系统的一个研究热点，其主要研究的是根据生产目标和约束条件，为每个加工对象确定具体的加工路径、时间、机器和操作环节等，优良的调度策略对于提高生产系统的经济效益起着极大的作用。其中，车间调度与控制技术是实现生产高效率、高柔性和高可靠性的关键（包括车间作业调度问题、流水车间调度问题和可重入型生产调度问题等），有效实用的调度方法和优化技术的研究与应用已成为先进制造技术实践的基础。本书的出版旨在激发读者在这一领域的研究兴趣。

在总结归纳国内外有关研究成果的基础上，本书系统地阐述了人工生命与群体智能算法中的 DNA 遗传算法和微粒群算法的基本结构、原理及实现技术，并且详细介绍了这种智能优化算法应用在 Flow-shop 型流程工业企业、Job-shop 型五金加工企业、模糊交货期流水车间以及可重入型的半导体生产制造的炉管区调度问题。针对具体生产调度问题，从算法设计的角度入手，通过数学建模、智能算法混合、仿真实验等方法对 DNA 遗传算法和微粒群算法进行了一系列的改进，得出有效和实用的改进算法。通过对实际生产调度问题的仿真实验，并将仿真结果进行分析和比较，证明改进后的优化算法具有全局性能好、健壮性强、搜索效率高等优点，为企业生产运作管理提供了科学的指导方法。

目前，我国生产制造行业不断发展，这一领域所产生的问题逐渐被越来越多的高校和研究机构的学者所关注，但国内涉及生产制造调度领域的专业书籍还很少。因此，本书在阐述新型生产调度优化方法的基础上，满



足了相关领域读者学习的需要，同时也为企业进行生产调度管理的研究提供了一套可行的方法。

叶春明

上海理工大学管理学院副院长 教授 博士生导师

2008 年 9 月于上海理工大学



前言

随着社会经济的发展,决定生产经营过程能否稳定高效运转的调度问题的复杂性不断提高。生产调度问题是涉及运筹学、应用数学、人工智能学以及计算机科学等学科的综合性问题,具体来讲,它是研究在满足一定技术与资源约束条件下操作的排序,并且按照排定的秩序给操作分配资源,最终使某个执行目标达到最优或近优的管理理论。其研究的范围包括车间作业调度问题、流水车间调度问题和柔性车间调度问题等。生产调度问题是具有多约束、多目标、随机不确定性质的组合优化问题,寻找调度问题的精确最优解十分困难,因此生产调度问题已经被证明是属于 NP-hard 性质的问题(NP 问题是可以在一个多项式时间内验证一个解是否正确的问题, NP-hard 是指 NP 难度的问题)。研究有效的智能算法来求解生产调度问题是一个具有应用价值和科学研究意义的课题。

近年来各种不同的人工智能方法被广泛应用到调度领域中,如模拟退火算法、神经网络算法、遗传算法等。然而,随着人们对生命本质的不断了解,生命科学正以前所未有的速度迅猛发展,它使人工智能的研究开始摆脱经典逻辑计算的束缚,大胆探索起新的非经典计算途径——DNA 遗传算法以及群体智能(Swarm Intelligence)——微粒群算法。群体智能是一种在自然界生物群体所表现出的智能现象启发下提出的智能模式,是计算智能领域的关键技术之一。

本书系统地研究了生产调度问题和智能求解算法,并根据实际应用提出了求解复杂调度问题的改进算法,获得了比较满意的调度结果。本书具体的研究工作主要集中在以下几个方面。

1. 以流程工业、离散型制造工业和半导体制造工业中的生产调度问题为研究对象。
2. 在对微粒群算法的基本思想和原理阐述分析的基础上,提出了判断微粒群算法是否出现早熟收敛现象的收敛方法。
3. 详细讨论分析了 DNA 遗传算法的原理和基本流程。
4. 针对实际生产调度问题中普遍存在的不确定性因素,讨论了提前/拖



后流水车间调度问题，并给出了不确定性问题的数学描述。

5. 以半导体生产过程中炉管区的调度问题为研究对象，在具体数学模型描述的基础上，将其分解为两个子问题，即在满足加工批量约束的情况下，对同类元件如何进行分批以及对各批元件如何进行机器的选择。

本书由柳毅负责全书的组织、编写和最终定稿工作。马慧民、何志康等参与了本书相关章节的编写和调试脚本程序的工作，浙江工业大学软件学院院长王万良教授、上海理工大学管理学院副院长叶春明教授对本书进行了认真审阅，提出了许多建设性的指导和意见，使本书内容日臻完善，在此对他们所付出的辛勤劳动表示诚挚的感谢。同时，感谢杭州电子科技大学学术著作出版基金、杭州电子科技大学科研启动基金为编写、出版提供的经费资助。

本书在编写过程中，参考了部分图书和期刊论文资料，在书后以参考文献的形式列出。

信息技术的迅猛发展和企业管理的改革创新，时刻影响着企业生产调度优化问题的发展进程，尽管我们付出了很多的努力，但由于水平有限，加之时间仓促，书中难免存在不足之处，敬请读者不吝赐教。

编 者

2008 年 8 月于杭州电子科技大学



目 录

第1章 绪 论	1
1.1 本书写作背景及意义	1
1.2 本书主要内容	3
第2章 生产调度问题及其优化方法	5
2.1 生产调度问题的提出	5
2.1.1 生产调度问题	6
2.1.2 生产调度问题的分类	7
2.2 车间生产调度问题	8
2.2.1 车间生产调度问题的描述	8
2.2.2 车间调度问题的特点	9
2.2.3 Job-shop、Flow-shop 和可重入型的车间调度问题	9
2.3 生产调度问题的优化方法	11
2.3.1 调度策略的研究	12
2.3.2 生产调度方法的研究	13
2.4 小结	18
第3章 人工生命与群体智能	19
3.1 人工生命	19
3.1.1 人工生命的研究思想	20
3.1.2 人工生命的研究结构	20
3.1.3 人工生命的研究动态	21



3.2 群体智能	23
3.2.1 群体智能的研究起源	24
3.2.2 群体智能算法的原理	24
3.2.3 群体智能的研究动态	25
3.3 群体智能与人工生命的关系	27
3.3.1 群体智能与人工生命的区别	27
3.3.2 群体智能与人工生命的联系	27
3.4 小结	28
 第4章 微粒群算法	29
4.1 微粒群算法	29
4.1.1 微粒群算法的基本思想	29
4.1.2 微粒群算法的参数设置	30
4.1.3 微粒群算法的框架理念	31
4.1.4 微粒群算法的设计及流程	32
4.1.5 微粒群算法的收敛性分析	36
4.2 微粒群算法与其他优化方法的比较	39
4.3 微粒群算法的应用现状	39
4.4 小结	40
 第5章 DNA 遗传算法	41
5.1 DNA 算法	41
5.1.1 DNA 算法的基本原理	41
5.1.2 DNA 组成结构	42
5.1.3 DNA 分子操作技术	43
5.1.4 DNA 计算与软计算的集成	44
5.1.5 DNA 算法的研究现状及应用	45
5.2 DNA 遗传算法	46
5.2.1 DNA 遗传算法的基本概念	46
5.2.2 DNA 遗传算法的实现技术	47



5.2.3 DNA 遗传算法与遗传算法的比较	48
5.3 小结	49
第 6 章 作业型生产车间的微粒群调度算法	51
6.1 作业车间调度问题描述	51
6.2 基于作业调度问题的微粒群算法	53
6.2.1 编码	53
6.2.2 局部极值的判断	54
6.2.3 建立记忆库	56
6.2.4 动态设定惯性权重	57
6.2.5 自适应的交叉机制	57
6.2.6 自适应的变异机制	58
6.2.7 改进微粒群算法的流程	58
6.3 仿真算例	60
6.4 小结	63
第 7 章 流水型生产车间的 DNA 遗传调度算法	65
7.1 流水车间调度问题的描述	66
7.2 DNA 遗传算法	67
7.3 改进 DNA 遗传算法	71
7.3.1 建立工序问题的 DNA 计算模型	71
7.3.2 编码方法	72
7.3.3 适应度函数	73
7.3.4 分裂算子	74
7.3.5 变异算子	74
7.3.6 选择算子	74
7.4 仿真算例	75
7.5 小结	78



第 8 章 模糊交货期流水车间的微粒群调度算法	81
8.1 模糊交货期调度问题	82
8.1.1 订单完成期的模糊描述	85
8.1.2 订单的实际处理时间	86
8.1.3 模糊目标函数	86
8.2 提前/滞后流水车间 (FSSP) 的混合微粒群算法	87
8.2.1 提前/滞后 FSSP 问题的描述	87
8.2.2 引入惩罚函数	88
8.2.3 动态惯性权重	89
8.2.4 引进交换子、交换序	90
8.2.5 引入禁忌搜索机制	91
8.2.6 混合微粒群算法的流程	92
8.3 仿真算例	92
8.4 小结	96
第 9 章 半导体制造系统的调度问题	97
9.1 半导体制造产业的战略意义	97
9.2 半导体生产过程及制造工艺	98
9.2.1 半导体生产制造过程	98
9.2.2 半导体生产的工作区域	99
9.2.3 半导体生产制造工艺	100
9.3 半导体制造系统调度	104
9.3.1 半导体制造系统调度问题的特点	105
9.3.2 半导体制造系统调度的约束	106
9.3.3 半导体制造系统的调度分类	107
9.3.4 半导体制造系统的调度策略	110
9.4 小结	111
第 10 章 半导体炉管区生产调度的微粒群算法	113
10.1 半导体炉管区的生产调度	113



10.1.1 半导体炉管区的生产情况	113
10.1.2 半导体炉管区调度问题的数学描述	114
10.2 基于群体智能调度模型的双层微粒群算法	116
10.2.1 半导体炉管区群体智能调度模型	116
10.2.2 实现集中优化控制的 C_ PSO 算法	117
10.2.3 实现分布式动态控制的 D_ PSO 算法	119
10.2.4 算法流程	120
10.3 仿真算例	121
10.4 某半导体制造公司 6 寸线炉管区批量调度实例	128
10.5 小结	133
 第 11 章 结束语	 135
参考文献	139
附 录	149



第1章

绪论

1.1 本书写作背景及意义

制造业是国民经济的支柱产业，是一个国家国民经济的基础，随着市场竞争的日趋激烈，制造业面临着许多全球性问题，如自然资源日益匮乏、客户对产品的要求越来越多样化、产品的生命周期逐渐缩短、产品的结构日益复杂等。如何协调 T（时间）、Q（质量）、C（成本）、S（服务）、E（环境）等因素，如何运用有限的资源降低产品的生产成本，缩短制造周期，保证及时交货，提高企业信誉，赢得更多的客户，成为制造企业在竞争中生存的重要条件。因此，每个企业都在寻求好的生产运作管理方式和决策支持系统，以提高企业的生产、经营和管理效率，最终提高企业的竞争力。

敏捷制造作为 21 世纪企业的先进制造模式，综合了 JIT、CIMS、精益制造等多种先进制造模式的理念，其目的是要以最低成本制造出顾客满意的产品，即是完全面向顾客的制造模式。在这种模式下如何进行组织管理，包括如何组织动态联盟、如何重构车间和单元、如何安排生产计划、如何进行调度都是需要解决的重要问题。其中车间作业调度与控制技术是实现生产高效率、高柔性和高可靠性的关键。有效实用的调度方法和优化技术的研究与应用已成为先进制造技术实践的基础。

1973 年，美国的约瑟夫·哈林顿（Joseph Harrington）博士首次提出计算机集成制造（Computer Integrated Manufacturing System, CIMS）的概念，借助计算机将企业中各种与制造有关的技术系统集成起来，构成计算机化、信息化、智能化、集成优化的制造系统。它保证企业在生产工艺不做大改变的前提下，实现高效生产管理和经营决策，解决生产过程控制方面的问题，使企业产生最大的综合经济效益。

CIMS 是一种在某种环境下能提高企业总体效益的、全局性的理念和方法，这种理念要求以集成方式组织企业的全部活动，从设计、制造到销售



和售后服务各阶段要尽可能利用各种方法和技术工具（计算机和自动化技术），及时提高生产效率，降低成本，实现按期交货，确保生产系统全局和局部的柔性等。CIMS 结构如图 1-1 所示：生产计划与调度居于 CIMS 五个层次的中间，是控制与管理一体化的接合部，上面是负责整个企业经营战略决策的决策层，下面是生产过程的监督控制层。因此，生产计划与调度是实施 CIMS 的关键，无论是从控制理论研究的角度，还是从系统应用开发的角度，它都受到学术界和企业界的广泛关注。

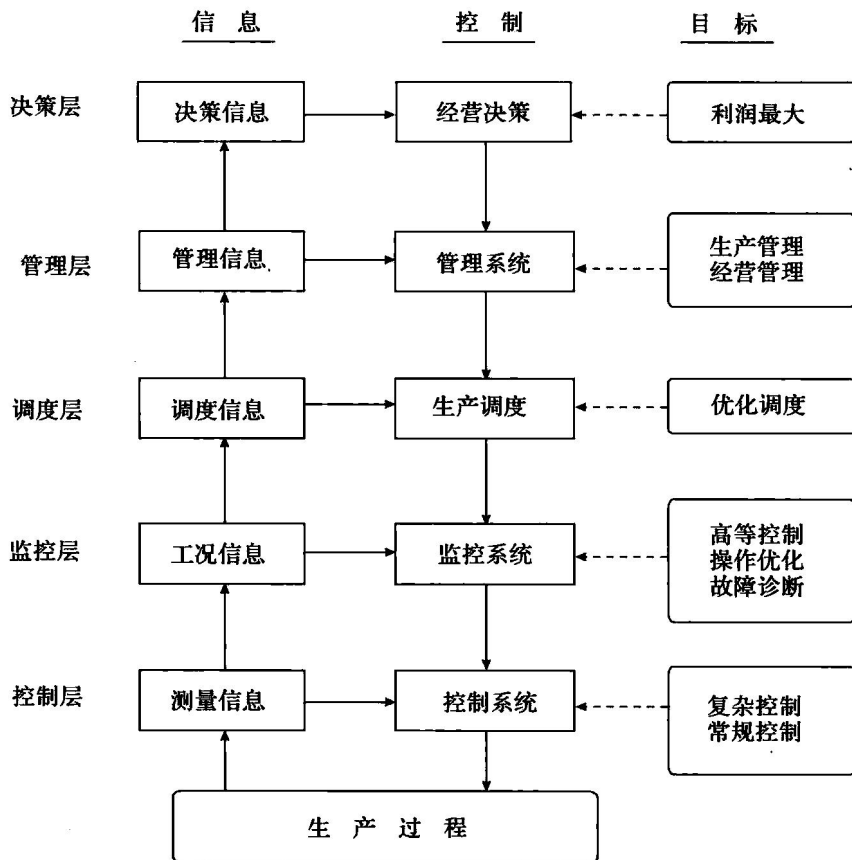


图 1-1 CIMS 结构图

生产计划与调度的研究是一个交叉性研究领域，涉及运筹学、数学、计算机工程、控制工程与工业工程等多个学科。生产调度是对生产过程进行的作业计划，作为一个关键模块，它是整个先进生产制造系统实现管理技术、运筹技术、优化技术、自动化与计算机技术发展的核心。生产制造过程的管理按其内容可分为生产系统的性能评价、生产计划和车间层控制。

性能评价指标评估现有系统的性能,一般而言就是评估系统的基本属性,这些属性是制订生产计划与进行车间控制的基础。生产计划一般指高层长期生产能力的安排和分配。车间控制是生产计划的细化和实现,它基于能力(工时)的较长期计划转化为实际工件的实时加工序列。车间层控制又包括两个方面,即投料控制和工件调度。投料控制决定新工件进入生产线的时间、顺序和方式。工件调度是指按调度策略从中选择下一个(批)要加工的工件,或对生产批量进行划分。有效的调度方法和优化技术的研究与应用,是实现先进制造和提高生产效益的基础和关键。

本书主要讨论的是有效的调度方法和优化技术的研究与应用,这是实现先进制造和提高生产效益的基础和关键。

1.2 本书主要内容

本书综合论述了调度问题的提出与发展、解决调度问题常采用的研究方法和其中的联系与区别,以及集成电路生产优化调度的意义。

本书以 Flow-shop、Job-shop 典型生产调度问题、带约束条件的模糊交货期流水车间调度问题和半导体炉管区生产调度问题为研究对象,以微粒群算法和 DNA 遗传算法为研究方法,就实际生产调度问题进行仿真实验,并将仿真结果进行分析和比较,得出结论,证明了本书所提出的改进算法的有效性和实用性。各章具体内容安排如下。

第1章,绪论。本章基于企业生产制造系统加工的特殊性以及经济发展的重要性,分别从学术意义与现实意义两个方面说明开展企业生产制造系统调度问题研究的必要性,并简要说明本书的研究思路、内容与框架。

第2章,生产调度问题及其优化方法。本章论述了各种类型的生产调度问题之间的区别和特点,以及它们的数学模型和具体描述,同时归纳总结了以往研究 NP 性质生产调度问题的优化技术和算法。

第3章,人工生命与群体智能。群体智能和人工生命都是目前智能领域非常活跃的新兴研究领域,它们通过对自然界生命现象的模拟,在不同层次上揭示了生命进化规律,为人们揭示了生命现象和进化规律,为解决复杂系统提供了新的思路。作为智能计算领域的关键技术,同时作为仿生智能计算领域的重要分支,群体智能和人工生命获得了更大的发展和广泛的融合。

第4章,微粒群算法。本章介绍微粒群算法的基本结构、原理及实现技术,并详细介绍了微粒群算法的理论分析方法,最后着重讨论了微粒群算法在优化系统领域中的应用。

第5章, DNA 遗传算法。本章系统地探讨 DNA 算法的计算模型、数学



机理以及应用,比较了传统优化算法与 DNA 算法的不同。传统算法在搜索确定解或最优解方面具有天然的“软”特征或缺陷,并受到计算复杂性的限制,而 DNA 遗传算法则是一种全新的优化方法,可以更好地求解 NP 性质的生产调度问题。

第 6 章,作业型生产车间的微粒群调度算法。微粒群优化算法是一种新型的模拟生物进化的算法,具有全局性能好、搜索效率高等优点。从工程应用角度,本章提出一种具有自适应变异、交叉机制和动态改变权重等优点的改进微粒群算法,并将该算法应用在作业车间调度中进行研究,同时将结果与遗传算法比较,实验表明该算法在生产调度问题中具有实用性。

第 7 章,流水型生产车间的 DNA 遗传调度算法。本章详细讨论了 DNA 遗传算法求解的相关技术,指出了二进制编码方案与 DNA 四值符号之间的逻辑等价性。DNA 遗传算法不仅继承了遗传算法全局搜索的能力,同时利用 DNA 双螺旋结构和碱基互补配对原则进行编码运算,提高了算法的有效性和收敛速度。通过求解 Flow-shop 调度问题,证明了 DNA 遗传算法的有效性和实用性。

第 8 章,模糊交货期流水车间微粒群调度算法。本章就这种生产调度问题的特点,详细讨论了微粒群算法的求解技术,利用交换算子对微粒群的位置和运动公式进行重构,同时引入禁忌搜索算法加强微粒群搜索的效率,系统地研究了微粒群算法求解提前/滞后流水车间调度问题的方法。

第 9 章,半导体制造系统的调度问题。本章以半导体制造系统调度问题为研究对象,分析了半导体制造系统调度的特点,以及半导体制造系统调度中存在的问题,总结了半导体制造系统调度领域的研究与应用成果。

第 10 章,半导体炉管区生产调度的微粒群算法。本章选取一个半导体生产中的关键性问题——炉管区的生产调度问题进行研究。在建立半导体炉管区批量调度模型的基础上,针对炉管区在满足加工批量约束的情况下,对同类元件进行分批调度并且根据选择机器的需要提出了双层结构的微粒群算法。外层采用离散二进制微粒群算法进行生产批量计划问题的求解,而内层采用进化微粒群的算法进行求解。通过将调度仿真结果与其他算法进行比较,表明此种算法在求解炉管区批量调度问题时优于启发式算法与蚂蚁算法。

第 11 章,结束语。本章对全书内容进行了总结,并对课题研究方向和实际应用的前景做了进一步展望。



生产调度问题及其优化方法

2.1 生产调度问题的提出

调度是一个古老的研究课题。调度问题可以定义为若干个任务在一些机器上进行,如何按时间对机器和物力等资源进行安排,使某些函数达到最优。调度问题具有很强的实践背景,其最早是在制造业中被提出的,但其应用范围早已扩展到交通运输、航空航天、医疗卫生和柔性制造等众多领域。

调度理论的研究与运筹学的发展应用同步。从20世纪50年代初期开始,在应用数学、运筹学和工程技术等领域中,学者们对调度问题进行了大量的研究。在研究的初级阶段,调度问题被当做一个纯粹的数学问题。50年代初期,Johnson提出了解决 $n/2/F/C_{\max}$ 和部分特殊的 $n/3/F/C_{\max}$ 问题的优化算法,标志着调度理论研究的开始。考虑到调度问题的复杂性,后来人们逐渐着手寻求有效的求解策略。到60年代,调度理论研究者通过采用混合或纯粹整数规划、动态规划和分枝界定等方法,解决了一系列有代表性的调度问题。60年代中期,人们逐渐认识到调度问题的复杂性。60年代后期,人们开始研究用启发式方法解决调度问题,至此,调度理论的主体结构基本建立起来。70年代,复杂性理论及NP完全问题兴起,人们开始注意并重视调度问题的复杂性研究,证明了许多调度问题是NP性质的难题,即使简单的Job-shop和Flow-shop问题也是NP性质的难题。对于这类问题,并不存在有效的多项式解法,因此,只能寻求有效的启发式方法来解决它们。针对不同的问题,人们提出了大量有效的启发式算法。到70年代后期,随着对调度问题研究的深入,经典调度理论作为一门应用数学的分支,已经发展成熟。

经典调度理论虽然取得了重大的进展,并且作为一门应用数学学科已基本成熟,但实际调度问题要比经典调度理论研究的问题复杂得多。为了研究的需要,经典调度理论往往对实际调度问题作了很大的简化。因此,

