

▶ 现代企业管理与创新系列 ◀

服务资源 智能调度 算法及其应用

FUWU ZIYUAN ZHINENG DIAODU
SUANFA JIQI YINGYONG

杨 琴 周国华 著



科学出版社

现代企业管理与创新系列

服务资源智能调度算法及其应用

杨 琴 周国华 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要关注服务运作与服务管理下的一个子问题,即服务资源调度问题。本书以不同的服务资源和服务资源调度作为具体研究对象,试图在传统的制造系统调度问题研究成果的基础上,结合服务资源调度问题的特性,描述其问题模型,对已有的调度方法和算法进行改进,结合多种智能优化算法,运用约束理论、系统分解思想、重调度理论和动态调度理论等解决服务资源调度问题,并结合实际案例将理论与管理实际相结合,为服务调度问题的研究提供支持。本书的相关成果可以推广应用到解决其他企业和社会服务资源的调度问题中。

本书可供计算机、机械、管理及相关领域的教学与科研人员参考学习,也可作为工程技术和管理人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

服务资源智能调度算法及其应用 / 杨琴, 周国华著. —北京: 科学出版社, 2014.10

(现代企业管理与创新系列)

ISBN 978-7-03-041846-3

I. ①服… II. ①杨…②周… III. ①服务业-企业管理
IV. ①F719

中国版本图书馆CIP数据核字 (2014) 第205831号

责任编辑: 张 展 莫永国 / 责任校对: 李 娟

责任印制: 余少力 / 封面设计: 墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年10月第 一 版 开本: 787*1092 1/16

2014年10月第一次印刷 印张: 9 1/4

字数: 250千字

定价: 49.00元



前 言

自2004年美国竞争力委员会首次提出服务科学的概念以来,国内外学者和企业界对服务科学的研究做出了积极的响应,认为服务科学是一个极具前沿意义的学科(郭重庆,2008),是一个正在兴起的领域(刘作仪等,2008)。

本书主要关注服务运作与服务管理下的一个子问题——服务资源调度问题,并以不同的服务资源和服务资源调度作为具体研究对象。服务资源的调度问题有很多实际原型,包括:应急资源的调度、医院救护资源的调度、交通运输车辆的调度和服务企业(如本书案例中涉及的汽车4S店维修服务资源)的调度等。这些调度问题与传统制造业中的调度问题相比较,都具有任务的动态性、任务的时效性、任务环境的复杂性和涉及更多人为因素等特征。从目前的文献资料来看,针对服务资源调度问题的研究相对较新,也比较少。Pinedo(2005)在其著作 *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services* 中对服务资源的调度问题进行了一定的阐述。

服务资源调度问题中,通常一项服务任务包括一个或多个处理阶段,每个阶段又涉及多个功能类似的资源,这与制造业中的柔性加工车间(并行机相当于只有一个加工中心的柔性加工车间)的性质类似。不同的是:首先,服务企业与最终客户之间缺乏经销商等中间环节的缓冲,任务到达系统的时间具有动态性;同时,服务产品无法库存和事前准备,从客户提出需求到完成任务的时间间隔比制造业更紧,作业时间窗缺乏柔性;最后也是最重要的区别在于服务资源的调度需要更多地涉及人的因素。这体现在以下两个方面:一是,制造业的调度主要关注效率,而服务资源更关注客户的满意度,服务过程总伴随着顾客的参与;二是,制造业调度的对象多为物化资源,而服务过程还涉及很多处于不同等级的服务人员,因此服务资源更多地涉及人员调度问题以及人与设备的协调问题。

针对于此,本书试图在传统的制造系统调度问题研究成果的基础上,结合服务资源调度问题的特性,描述其问题模型,对已有的调度方法和算法进行改进,结合多种智能优化算法,运用约束理论、系统分解思想、重调度和动态调度等理论解决服务资源调度问题。本书借鉴三元组理论,分析了服务资源调度问题模型,对服务人员调度模型、预约任务和作业时间窗调度模型进行了介绍。接着,结合实际应用,对交通运输规划调度模型、体育联赛和广播电视节目调度模型进行了分析。然后,以“汽车4S店维修服务资源调度”为案例对项目规矩调度问题进行了分析:解决单一服务资源的多目标动态调度问题;构建单瓶颈环境下复杂服务资源动态调度策略;解决多约束环境下复杂服务资源动态调度问题。通过描述以上各问题的特征与性质,建立问题的数学模型,并且有针对性地选择、改进和组合多种调度算法与动态调度策略,实现问题求解,并结合具体案例运用书中的方法进行服务资源的调度,提出了与之对应的管理策略建议。

本书得到教育部人文社会科学研究青年基金项目“(13YJC630202)结合行为分析的服务资源调度问题研究—以汽车4S店维修服务资源调度问题为例”,四川省哲学社会科学

“十二五”规划项目“(SC14B065)基于客户和工作人员行为特征分析的服务资源调度问题研究”,四川省教育厅重点项目“(14ZA0026)考虑服务对象和服务人员行为特征的服务资源调度问题研究”,四川师范大学科研创新团队等项目的基金资助。值此表示衷心的感谢!

作者

2014年5月

本书由四川省教育厅项目“(SC14B065)基于客户和工作人员行为特征分析的服务资源调度问题研究”、四川省教育厅重点项目“(14ZA0026)考虑服务对象和服务人员行为特征的服务资源调度问题研究”、四川师范大学科研创新团队等项目的基金资助。

本书由四川省教育厅项目“(SC14B065)基于客户和工作人员行为特征分析的服务资源调度问题研究”、四川省教育厅重点项目“(14ZA0026)考虑服务对象和服务人员行为特征的服务资源调度问题研究”、四川师范大学科研创新团队等项目的基金资助。

本书由四川省教育厅项目“(SC14B065)基于客户和工作人员行为特征分析的服务资源调度问题研究”、四川省教育厅重点项目“(14ZA0026)考虑服务对象和服务人员行为特征的服务资源调度问题研究”、四川师范大学科研创新团队等项目的基金资助。

本书由四川省教育厅项目“(SC14B065)基于客户和工作人员行为特征分析的服务资源调度问题研究”、四川省教育厅重点项目“(14ZA0026)考虑服务对象和服务人员行为特征的服务资源调度问题研究”、四川师范大学科研创新团队等项目的基金资助。

本书由四川省教育厅项目“(SC14B065)基于客户和工作人员行为特征分析的服务资源调度问题研究”、四川省教育厅重点项目“(14ZA0026)考虑服务对象和服务人员行为特征的服务资源调度问题研究”、四川师范大学科研创新团队等项目的基金资助。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 服务资源调度	1
1.1.1 服务资源调度的特点	1
1.1.2 服务资源的动态调度	3
1.2 服务资源调度的类别	4
1.2.1 服务人员调度	4
1.2.2 预约任务和作业时间窗调度	5
1.2.3 交通运输规划调度	5
1.2.4 体育联赛和广播电视节目调度	6
1.2.5 项目规划调度	6
1.2.6 小结	6
1.3 调度算法	7
1.3.1 FJSP 研究现状	7
1.3.2 调度算法理论的研究现状	8
1.3.3 小结	10
1.4 本书内容框架	10
第 2 章 服务资源调度模型	13
2.1 服务资源调度问题描述	13
2.1.1 服务资源调度的环境特征	13
2.1.2 服务任务的特征和限制	14
2.1.3 服务资源调度的绩效指标和目标	15
2.2 服务人员调度模型	17
2.2.1 休假调度	17
2.2.2 排班	22
2.2.3 循环排班问题	24
2.2.4 循环排班的应用与延伸	25
2.2.5 小结	26
2.3 预约任务和作业时间窗调度模型	27
2.3.1 缺乏松弛度的预约任务调度模型	28
2.3.2 具有松弛时间的预定系统	29
2.3.3 受劳动力约束的时间窗调度问题	32
2.3.4 受操作者或工具限制的时间窗问题	34

2.3.5	小结	37
第 3 章	交通运输业中调度计划的制定	39
3.1	邮轮调度	39
3.2	航运调度	43
3.3	列车时刻表	51
3.4	小结	54
第 4 章	体育联赛和广播电视节目调度	56
4.1	体育联赛的调度和时间表	56
4.2	比赛调度和约束规划	60
4.3	比赛调度和局部搜索	61
4.4	广播电视节目的时间安排	64
4.5	本章小结	65
第 5 章	基于约束理论的汽车 4S 店维修服务资源调度问题分解	66
5.1	约束理论	67
5.1.1	瓶颈资源	67
5.1.2	DBR 系统	68
5.1.3	DBR 调度	68
5.2	汽车 4S 店维修服务资源调度问题描述	70
5.2.1	汽车 4S 店维修服务资源调度问题研究的背景	70
5.2.2	参数说明	71
5.2.3	汽车维修服务资源的基本描述	72
5.2.4	汽车维修服务资源的特性描述	73
5.3	基于约束理论的汽车 4S 店维修服务资源动态调度问题分解	75
5.3.1	分解法	75
5.3.2	汽车 4S 店维修服务资源动态调度的解决思路	76
5.3.3	基于约束理论的汽车维修服务资源动态调度问题的分解框架	77
第 6 章	汽车 4S 店维修服务瓶颈资源多目标动态调度	81
6.1	引言	81
6.2	瓶颈工序调度问题描述及建模	82
6.2.1	基本假设	82
6.2.2	问题描述	82
6.2.3	优化调度模型设计	83
6.3	瓶颈工序的多目标动态调度方法	84
6.3.1	设计重调度规则	84
6.3.2	阶段一:复合分派规则求初始解	85
6.3.3	阶段二:智能优化算法迭代求解	86
6.4	遗传算法迭代求解	87
6.4.1	遗传算法简介	87
6.4.2	问题求解的遗传算法设计	88

6.5	粒子群算法迭代求解	89
6.5.1	粒子群算法简介	89
6.5.2	问题求解的粒子群算法设计	90
6.6	模拟植物生长算法迭代求解	92
6.6.1	模拟植物生长算法简介	92
6.6.2	问题求解的模拟植物生长算法设计	93
6.7	实验仿真及算法性能比较	95
6.8	本章小结	96
第7章	单瓶颈环境下汽车4S店维修服务资源的动态调度	97
7.1	引言	97
7.2	单瓶颈环境下汽车维修服务资源调度问题描述及建模	98
7.2.1	基本假设	98
7.2.2	问题描述	98
7.2.3	优化调度模型设计	99
7.3	单瓶颈环境下系统动态调度方法	100
7.3.1	瓶颈特性下基于机器的问题分解简化	100
7.3.2	瓶颈和非瓶颈资源的重调度规则设计	102
7.3.3	瓶颈加工中心和非瓶颈加工中心的调度	103
7.3.4	瓶颈加工中心与非瓶颈加工中心间的协调	105
7.4	单瓶颈环境下汽车维修服务资源调度问题仿真及算法性能比较	105
7.4.1	汽车售后维修服务业务流程介绍	105
7.4.2	汽车售后服务维修车间介绍	106
7.4.3	实验仿真参数设置	108
7.4.4	仿真实验确定重调度策略	108
7.4.5	仿真实验比较多种启发式算法的性能	109
7.5	本章小结	110
第8章	多约束机环境下汽车4S店维修服务资源动态调度	111
8.1	引言	111
8.2	多约束机环境下系统调度问题描述建模及分解	112
8.2.1	基本假设	112
8.2.2	问题描述	112
8.2.3	优化调度模型设计	113
8.2.4	基于约束理论的多约束机系统动态调度问题的分解框架	114
8.3	改进约束引导的启发式算法求解多约束机调度	115
8.3.1	约束引导的启发式搜索算法	115
8.3.2	改进约束引导的启发式算法设计	116
8.4	多约束机环境下系统动态调度方法	117
8.4.1	基于多约束机的问题分解简化	117
8.4.2	重调度规则设计	118

8.4.3	多约束机与非约束机加工中心的调度	118
8.4.4	多约束机与非约束机加工中心间的协调	119
8.4.5	实验仿真及算法性能比较	120
8.5	多约束机环境下汽车维修服务资源调度案例	121
8.5.1	问题分解	122
8.5.2	子问题求解与整合协调	123
8.5.3	案例与实际调度结果的比较	127
8.5.4	对应的管理策略建议	128
8.6	本章小结	128
参考文献		130
索引		137

第 1 章 绪 论

调度研究的问题是将稀缺资源分配给在一定时间内的不同任务(Pinedo, 2002)。它是一个决策过程,其目的是优化一个或多个目标。服务资源的调度有许多原形,如:医院救护资源调度、应急资源调度和车辆调度等。这类调度问题不同于制造业中加工车间的调度问题,其表现在:①缺乏中间环节的缓冲,任务更具动态性;②服务产品很难库存或事前准备,作业时间窗缺乏柔性;③直接接触客户和大量服务人员的参与,使得服务资源的调度涉及更多人的因素。这些区别使得服务资源调度问题的研究需要结合传统制造业调度问题研究的成果经验,更需要创新思维。

2004年5月,由IBM公司主办的名为“The Architecture of On-Demand Business”的研讨会上,专家们将“服务科学”界定为商务与技术的结合和培育创新的途径。2004年12月,美国竞争力委员会首次在国家创新计划(NII)报告中提出服务科学的概念。此后,在他们的大力倡导下,国内外研究者对服务科学的研究做出了积极的响应。

Spohrer等(2005)提出人们在研究复杂服务系统的过程中,逐步形成了包括服务科学(service sciences)、服务管理(service management)、服务工程(service engineering)和服务运作(service operations)等分支。其中,服务科学通过建立一套严格的概念、方法和理论来解释、验证和仿真服务资源及其自身的运作规律;服务管理关注如何准确地预测服务需求,如何设计高质量的服务,如何向顾客提供高满意度的服务,以及如何高效率地规划服务运作过程中的资源、人员、能力等问题;服务工程侧重于利用IT技术来支持服务资源的设计、构建和部署;服务运作则关注服务的具体执行技术。IBM(2007)将服务定义为协同创造和获取价值的供应商/客户交互行为。郭重庆(2008)认为服务科学是一个极具前沿意义的学科。刘作仪等(2008)认为服务科学是一个正在兴起的领域,他阐述了服务的4个特征:无形性、生产消费同步性、易适性和差异性,并总结了服务的几种分类。孙林岩(2007)、赵晓波(2009)和汪应洛(2010)等对服务型制造、服务科学问题开展了研究。本书的研究内容“服务资源调度”属于服务运作与服务管理的子问题。

1.1 服务资源调度

1.1.1 服务资源调度的特点

服务业在很多方面与制造业不同,这些不同影响了相关活动的规划与调度。例如:制造业中可以有存货(如原料、在制品、成品),一项任务可以等待或提前完成;而在服务业中,任务通常是伴随客户一起到达,客户又是不愿意等待的,如果不能在预定时间内完成服务,会引发客户满意度的降低。因此,在服务资源的调度中,当现有资源容量无法按时完成服

务任务时,会采用拒绝客户的策略,而不是延期交付。此外,在制造业中资源(通常是机器)的数量通常是固定的,而在服务业中资源(如人工、空间和货车等)的数量可能随时间而变化。

这些制造业和服务业的不同之处影响了资源调度中所需处理的限制约束条件和目标。通过对现有研究情况的综述可以总结出服务资源的调度问题具有以下几点特征。

1) 动态调度问题是服务资源调度的研究重点和难点

服务资源的不可预测性更强,资源形式更为多样,这就加大了调度的不确定性,动态调度更能反映出服务资源调度的实际情况。但是,动态调度也增加了问题求解的难度。因此,服务资源的动态调度日益受到学者的关注,解决的方法也多种多样,包括:序优化、摄动分析、模糊优化算法、重调度和鲁棒调度等。其中,重调度和鲁棒调度是当前的解决服务资源动态调度问题的主要方法。Pinedo(2002)也指出重调度是解决动态调度问题的有效方式,提高调度计划的鲁棒性有助于确保重调度的可行性。

但是,上述方法在解决系统动态问题的同时,也增加了复杂系统求解的难度。以重调度为例,该方法采用基于时间的分解,将一个调度问题变成了多个问题。Goldratt(1984)提出约束理论,指出把管理重点放到瓶颈环节,能有效地提升管理效率。已经有学者(Volgenant et al., 2010;等)研究基于约束理论的生产作业与控制方法,并将其运用于制造业的生产调度中。因此,本书在应用部分试图运用约束理论简化复杂服务资源的动态调度问题。

2) 考虑人的因素,将其融入服务资源调度模型和规则的设计

现有研究主要源于实际,针对服务系统调度过程中所遇到的问题进行适度的抽象提炼,建立合理的数学模型,设计对应的调度算法。在服务调度模型的完善过程中,研究者发现:服务系统的调度要更多地涉及人的因素,受到客户和服务人员等多方参与者行为的影响。

传统调度问题的研究多建立在完全理性假设的基础上,与之矛盾的是:服务系统要更多考虑人的行为特征。行为科学的研究成果表明:人行为的最基本特征是有限理性。Gino等(2008)对行为运作管理做出概括性的定义。Bendoly等(2010)梳理了行为运作研究可能利用的研究成果。刘作仪等(2009)探讨了行为运作管理的研究范式和方法。崔崑等(2011)构建了“行为库存管理”的研究框架。行为运作作为新的研究领域将心理因素和组织行为因素引入传统的运作领域,特别适合对客户满意度等主观情绪指标的建模。Wu等(2008)研究了客户的比较心理,Ata等(2009)结合客户时间敏感性研究了系统的动态调度问题,Benjaafar(2010)研究了客户等待时的各种行为。姜洋等(2013)从多个行为主体角度,分析了存在扰动的单机调度问题。考虑人的因素,将其融入服务资源调度模型和规则的设计,将是未来服务资源调度研究的重要内容。

3) 处理好多种服务资源,特别是物质和人力资源的协调调度问题

服务系统的调度经常涉及多资源的协调,例如:汽车维修车间针对不同任务必须将维修人员和设备一起调度,同时要考虑不同客户的需求。目前,对于综合人员和设备的调度问题研究还很少,部分学者将有限的人员等价于受限的资源,开展了一些基础研究。

但是,调度计划制定者、服务对象和服务人员在观点、能力、目标和获得的信息等方面都存在很大的不同,需要关注个体对系统反馈的非理性反应及其影响、系统中个体间相互作用以及不同团体的交互作用和影响。Bendoly等(2010)对系统动力学和群体动力学中一

些可以借鉴的结论进行了总结,已经在行为理论方面提供了良好的支持。杜玉泉等(2011)从客户满意的角度出发,研究了集装箱码头泊位与岸桥工时的协调调度。

1.1.2 服务资源的动态调度

动态调度与传统的静态调度的假设基础完全不同。静态调度假设所有与调度相关的信息在0时刻已知,动态调度假设信息是陆续到达的。具体而言,动态调度的类别包括:任务到达时间动态、加工时间动态、机器随机故障等。

相对于制造业,服务业与最终客户之间缺乏经销商等中间环节的缓冲,任务到达系统的时间具有动态性;同时,服务产品无法库存和事前准备,从客户提出需求到完成任务的时间间隔比制造业更紧,作业时间窗缺乏柔性。这些都导致服务资源调度问题具有更强的动态性,特别是针对具体应用案例而言,其调度方案必须具备动态性。

以本书的应用案例“汽车4S店维修服务资源”为例,其主要的动态因素表现为以下几点:①任务到达时间不确定,表现为车辆维修保养到厂时间的不确定;②任务权重随滞后时间的增加而变化,当任务滞后时间可以通过加班弥补时任务权重保持不变,当滞后时间导致任务交付时间超过预期完成时间时任务权重增加。此外,还可能出现机器随机故障等随机事件。由此可见,汽车4S店维修服务资源需要进行动态调度,依据陆续到达的信息,及时调整原调度计划。本书在应用案例部分试图采用重调度和鲁棒调度解决汽车4S店维修服务资源动态调度问题。

1) 重调度

调度人员经常会遇到生成一个调度计划后由于一些意外事件,导致计划需要重新调整,这种情况称为重调度(Pinedo, 2002)。重调度过程中,调度人员要调整原始调度,也要想办法使新生成的调动计划与原始调度尽可能保持一致,以免发生混乱和冲突。在已有的研究中,重调度策略可归类为以下几种类型。①连续型重调度,常用分派规则结合任务加工时间、提交时间和交货期等信息进行任务作业顺序的排列(Sabuncuoglu et al., 2000; Sun et al., 2001);②周期性重调度,方剑等(1997)研究了该方法;③事件驱动重调度,目前已经有学者研究了新工件一旦到达就进行重调度的情况(Bierwirth et al., 1999)和工件数目达到一定阈值就引发重调度的情况(Vieira et al., 2000);④混合重调度,在周期型重调度的基础上,当发生特殊事件时也引发重调度,Vieira等(2000)研究了这类方法,研究表明混合调度决策比单一的周期调度、事件驱动调度和连续调度取得的效果更好。

采用的重调度方式也有三类:①右移重调度,调度顺序保持不变,只需推迟部分任务的作业;②完全重调度,Bierwirth等(1999)结合遗传算法研究了这一方式;③部分重调度,Abumaizar等(1997)比较了完全和部分重调度的性能,提出了同时考虑稳定性和效率的重调度方法。Selim等(1999)通过不断的迭代过程,确定了机器故障情况下,重调度方法合适的匹配点。

无论采用何种重调度方式,如果预调度时忽略了未来可能出现的干扰,就需要频繁的重调度来保持系统良好的性能,但是过多的重调度又会产生连锁反应,带来系统的混乱。因此,希望在预调度时尽量考虑到可能的干扰影响,使得预调度方案具有一定的鲁棒性。

2) 调度的鲁棒性

鲁棒性的概念是与重调度相关的,要解决重调度过程中原调度计划与新生成调度计划

的差别问题,原调度方案需要具有较大的延期可能性(Sadi,2006),也就是说需要原始的调度具有一定的鲁棒性,当突发事件发生时只需要进行最小限度的必要改变。因此研究如何提高调度的鲁棒性,具有现实意义。

鲁棒性(也称健壮性,是英文 *robustness* 一词的音译)根据复杂网络理论,是指“故障与攻击的耐受性”,或称之为“网络弹性”(Newmann,2003)。在实际问题中,系统特性或参数的摄动常常是不可避免的,所以鲁棒性已成为一个重要而基本的研究课题。目前,鲁棒性在各个领域均有着广泛的应用,如鲁棒车间调度(Artigues et al.,2005)、并机鲁棒调度(Anglani et al.,2005)和飞行鲁棒调度(Lee,2007)等。

调度鲁棒性的研究涉及系统工程思想、控制理论、优化建模方法和智能优化算法等,在这一领域研究者进行了广泛的研究以提高各类系统调度的鲁棒性。Mehta等(1998,1999)针对单机和 Job Shop 问题,在调度方案中插入适当的空闲时窗,设计了随机机器故障情况下的预调度算法,并运用算例验证了该算法可以在牺牲少量效率的基础上使得调度的稳定性得到显著提升,其存在的不足是没有考虑任务过早完成的影响。Kouvelis等(2000)针对 $F_2|C_{\max}$ 问题,研究了加工时间不确定情况下的鲁棒调度,提出了问题求解的准则,设计了能确保系统鲁棒性的启发式算法和分支定界法,并通过实验验证了方法的有效性和调度的鲁棒性。Jensen(2001)以最小化最坏性能为目标,针对系统出现设备故障的情况,设计了求解该问题的具有鲁棒性的遗传算法,并通过与确定性调度方法的比较,验证了该方法可以得到更具鲁棒性的预调度方案。Artigues等(2003)提出了一种基于网络流(AON-flow)的优化模型,考虑了动态和静态条件,通过对已有调度实施插入缓冲区技术来获得鲁棒性。Chtourou等(2008)考虑了工作消耗资源的数量和紧后工序的数量,设计了三个系列,共12种鲁棒性度量方法,建立了较为复杂的双目标优化模型,并采用了基于优先规则的两阶段算法进行求解,模拟显示鲁棒调度55%可以保证调度的稳定性。

1.2 服务资源调度的类别

从目前的文献资料来看,针对服务资源调度问题的研究相对较新,也比较少。结合Pinedo(2005)在其著作 *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services* 中对服务资源的调度问题的阐述,可以将服务资源的调度模型分为5类。

1.2.1 服务人员调度

服务人员调度是服务资源调度的一个重要组成部分。人员调度模型往往与机器调度模型有很大不同。服务人员调度的例子很多,比如客服中心话务员或空乘人员的排班等。单纯的排班模型相对而言容易构建,每个服务人员可以安排不同的工作班次(例如:早、中、晚班),每个班次只需要安排足够的服务人员,不同班次、不同级别服务人员的工资不同,调度目标是 minimized 总成本。这样的排班模型,在某些方面和制造业中的并行机调度有相似之处,其中服务人员在某种意义上等价于制造业中的平行机,即在时间段 i ,至少有 b_i (b_i 为整数,代表需要的服务人员数量)个服务人员用于处理相关任务。但是,由于人力资源的特殊性,使得对人员的规划调度受到更多约束条件的限制,例如:人员每周要有规律的休息时间;在一周的不同时段(周末和平常)对人员的需求量上存在差异等。此外,服务人员调度

还需要与其他资源的调度相结合(例如:乘务员的排班需要与飞机、客车的路线调度相结合)。

目前,对服务人员调度问题的研究国外涉及较多,但是随着国内劳动力价格的提升和劳动待遇的改善,这类调度问题将日益受到关注。王谦等(2008)研究了多系统服务中心的多技能服务人员调度问题;Seçkiner等(2007)运用整数规划法研究了不同级别工作人员的调度问题;Valls等(2009)研究了客服中心接线员的作业排班问题;Stolletz(2010)研究了机场登机口人员排班问题。

1.2.2 预约任务和作业时间窗调度

预约任务调度模型中,任务 j 有一个作业时间 p_j ,而且其开始和结束时间通常是预先确定的,也就是说作业时间窗不能松弛,调度目标通常是处理尽可能多的工作。例如:汽车租赁问题中,一项任务等价于某一时间段一辆汽车的租赁活动,公司不能接受所有的汽车租赁预约,必须决定要完成哪些任务,放弃哪些任务,调度的目标是尽可能多地完成租赁任务,使收益最大化。

作业时间窗调度模型中,任务 j 可以是一节课、一个会议或者一台手术。它有持续时间 p_j ,通常不允许中断,需要安排在特定的时间段。作业时间窗调度中任务的开始和结束时间可以略微宽松,但涉及更多的任务约束条件。例如:一节课涉及的老师和学生不允许同时出现在其他课时安排中,调度目标在满足相关约束条件的前提下最小化完工时间,即最大化相关资源的利用率。作业时间窗调度的另一个例子是医院手术室的调度问题,完成一台手术涉及病人、手术室、外科医生和外科手术团队的其他成员,调度目标是找到一个可行方案满足上述相关各方的需求和约束条件。

目前,国内外对这类问题的研究都相对较少,但是这类问题中的一种具体实例——手术室调度正逐渐引起人们的关注。Hans等(2008)研究了手术室的鲁棒调度问题;Cardoen等(2009)运用分支定界法精确求解了手术室调度问题;Roland等(2010)研究了存在人力资源限制的手术室调度问题;Fei等(2010)运用开放车间模型研究了手术室调度问题;Augusto等(2010)研究了手术室和病床相结合的调度问题。

1.2.3 交通运输规划调度

交通运输规划调度主要用于航空、公路、铁路和航海运输等领域。这类问题中的任务可以是一趟车辆运输活动或者一趟航班,而飞机、船舶和车辆就相当于机器设备。一趟运输活动必须在给定的时间段内完成,且受到各种约束限制。简单的运输问题可以看作并行机调度模型,比如:一架飞机相当于一台设备,一个航程相当于一项有作业时间、开始时间和结束时间限制的工作任务,而且受到许多条件的约束和限制。比如:飞机的周转时间相当于由顺序决定的准备时间,一次航行需要和另一次航行配合形成一个往复旅程 k ,而且要分配给特定的运载工具和旅客。一个往复旅程 k 会产生成本 C_k 和收益 π_k 。调度目标是最小化成本或最大化收益。

随着人们对物流系统优化问题的日益关注及其在现实中的广泛应用,相对其他服务资源调度问题(不包括项目调度),学术界对这类问题的研究较多。陈旭梅等(2009)研究了常规公共交通与轨道交通运营调度协调模型;Zhang等(2008)研究了基于混合遗传算法的公

共交通调度问题;Lee等(2009)研究了集送货一体化的车辆调度问题。

1.2.4 体育联赛和广播电视节目调度

体育联赛和广播电视节目调度问题包括一系列的参赛团队(节目)和固定数量的比赛场次(时段),需要在特定的时间把它们分配到特定的场地。这些比赛和广播电视节目可能受到很多约束条件限制。例如:某些比赛场次只能安排在特定的时间窗内,体育联赛中比赛的先后也会受到许多约束,一个队不应该在主或客场连续进行超过两场比赛。这类调度问题相当于一个所有工作的作业时间都相等的并行机调度问题。而且有些约束与人员调度问题中的劳动力约束有或多或少的相同之处,因为一个队在给定时间空档最多只能进行一场比赛。

目前,该问题国内几乎没有相关的专业文献资料,在国外相对更受关注。Knust(2008)研究了以最小化等待时间为目标的体育联赛调度方法;Briskorn(2009)运用分支定界法研究了以最小化成本为目标研究了循环赛排序问题;Knust(2009)对存在场地限制,以最小化成本为目标循环赛排序问题进行了研究;Irnich(2010)运用分支定界法研究了联赛排序问题。

1.2.5 项目规划调度

这类模型既可以用于服务资源(比如:咨询项目),也可以用于制造系统(比如:新产品研发制造项目),因此受到了广泛的关注。国内学者刘士新(2007)在其著作中详尽地介绍了项目调度问题,并着重提出针对非确定环境下的关键链项目管理和模糊项目调度等问题是近年来学术界研究的重点;彭武良等(2010)研究了关键链项目调度模型及遗传算法求解;张龙等(2009)研究了复杂产品开发项目调度问题的模糊优化算法;Yan等(2009)针对海上灾害后快速反应问题提出了一种启发式项目调度方法。

这些调度问题中,通常一项服务任务包括一个或多个处理阶段,每个阶段又涉及多个功能类似的资源,这与制造业中的柔性加工车间(并行机相当于只有一个加工中心的柔性加工车间)的性质类似。本书的应用案例“汽车4S店维修服务资源调度”就属于这一类型。在汽车4S店维修车间,每项任务通常会有预先确定的处理程序,在各个阶段有一系列的特定设备可供选择。调度人员除了要安排事先预约的客户的工作任务,在任意时刻都可能出现新的任务需求,需要把新的工作插入已有的调度计划中去。同时,任务的权重等因素也可能随时间的推移而发生改变,这就需要已经生成的调度计划进行动态调整。排除人的因素,仅从设备和任务等主要特征考虑,此类调度问题可以看作动态柔性加工车间调度问题(flexible job shop scheduling problem, FJSP)。本书在后文结合约束理论和系统分解思想简化汽车维修服务资源调度问题,并进行求解和案例仿真。

1.2.6 小结

上述服务资源调度模型与制造业中资源的调度有很多相似之处。预约任务的调度在交通运输业和医疗业都很常见,同时该模型又可运用于制造业中设备的租赁问题。交通运输规划调度类似于并行机调度模型,一架飞机相当于一台机器,其执行的一趟飞行任务相当于存在任务处理时间(持续时间)、任务提交时间和工期等条件约束的一项工作,飞机的

周转时间类似于由顺序决定的准备时间。与制造业不同的是服务资源的调度涉及多种资源,在设备调度的同时要结合考虑服务人员的调度,例如列车时刻表的安排也要结合乘务员的排班。

1.3 调度算法

所谓优化算法就是一种搜索过程或规则,它是基于某种思想和机制,通过一定的途径或规则来得到满足用户要求的问题的解。调度算法包括精确算法和近似算法两大类。目前,大量的研究工作集中在近似值启发式算法上。本书研究的服务资源调度问题的一般化形式属于 FJSP。FJSP 是对经典加工车间调度问题(job shop scheduling problem, JSP)的扩展,是调度问题中最复杂且最具实际价值的一类。它扩大了最优调度的搜索空间,而且需要满足更多约束条件,导致问题更加复杂。对 FJSP 的求解是建立在已有调度算法的改进和组合运用基础之上的。下面就 FJSP 和调度算法理论两个方面对研究现状进行介绍。

1.3.1 FJSP 研究现状

FJSP 是传统 JSP 的扩展。在 FJSP 中,每道工序的加工机器是不确定的。每个工件的每一道工序可以在多个可选择的加工机器上进行加工,并且选择不同的加工机器所需要的加工时间也不同。与传统 JSP 相比,FJSP 减少了机器约束,加大了机器的不确定性,扩大了可行解的搜索范围,是更加复杂的 NP-Hard 问题。同时,FJSP 更具灵活性,也更符合生产的实际情况,是迫切需要解决的一类调度问题。

Bruker 等(1990)最先对 FJSP 进行研究,他们针对一个简单的两工件的 FJSP 提出了一个多项式算法。目前对此类问题的求解,研究集中在对改进型启发式算法的应用上。Gao 等(2007,2008)先后运用混合遗传算法和移动瓶颈算法,混合遗传算法和可变领域下降算法求解了多目标 FJSP;Pezzella 等(2008)研究了运用遗传算法求解 FJSP;Zhang 等(2009)研究了粒子群算法求解柔性加工车间的多目标调度问题;Yazdani 等(2010)研究了可变邻域搜索 FJSP;Bagheri 等(2010)研究了人工免疫算法求解 FJSP。

此类问题的求解思路主要集中为两类:分步法和集成法。分步法最先是由 Brandimarte 提出的。这种基于“分而治之”的方法,将问题分成机器分配和工序调度两部分。先用分派规则将问题转化为一般的 JSP,再利用贪婪法、模拟退火算法、禁忌搜索法和遗传算法等方法解决转化而来的子问题。集成法是将机器分配问题和调度问题同时解决,通常是采用矩阵式编码的方式,将两个问题统一起来。

由于问题的复杂性,当前对于 FJSP 的研究集中在静态问题的求解上(Gao et al., 2007,2008;Pezzella et al., 2008;Zhang et al., 2009;Yazdani et al., 2010;Bagheri et al., 2010)。静态调度问题假设所有与调度相关的信息在 0 时刻已知,动态调度问题假设信息是陆续达到的。对此,Pinedo(2002)指出解决动态调度问题的有效方式是结合突发事件对原调度计划进行重新调整,也就是重调度,众多学者(Vieira et al., 2000;Pinedo, 2002;Artigues et al., 2003;Sadi, 2006;Chtourou et al., 2008)研究了重调度策略及其应用。但是重调度将一个 FJSP 问题变成多个子问题,进一步增加了求解难度。

针对动态 FJSP 问题求解困难的问题,约束理论提供了一个可以将问题分解简化的思

路。约束理论 (theory of constraints, TOC) 最初是由以色列物理学家 Goldratt(1984) 提出, 该理论指出瓶颈(bottleneck)是制约系统朝着目标前进的主要因素, 决定了整个系统的性能。通过对瓶颈环节的优化可以简化大规模复杂调度问题, 从而降低问题求解的复杂度。“鼓”(drum)–“缓冲器”(buffer)–“绳子”(rope)理论(DBR 理论)是基于约束理论的生产作业与控制方法。目前, 已经有研究者(Uzsoy et al., 2000; Mason et al., 2002, 2004, 2005; Lee et al., 2004; 左燕, 2006; Betterton et al., 2009; Chen et al., 2009; Volgenant et al., 2010)就基于约束理论的调度问题进行了研究, 并取得较好的效果。但是, 现有主要的研究对象是制造系统, 主要针对的是静态问题。因此, 研究如何利用约束理论求解服务资源动态调度问题是有一定理论意义的。本书在后文将结合约束理论和系统分解思想简化一个具体案例的复杂系统调度问题, 并进行求解和案例仿真。

1.3.2 调度算法理论的研究现状

如图 1-1 所示, Jain 等(1999)列出了调度问题的各种算法。

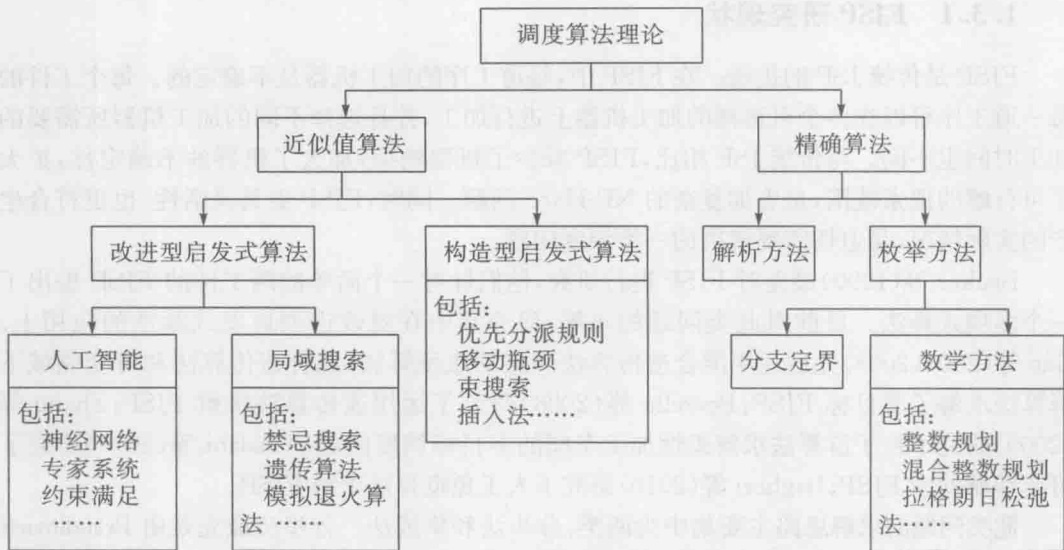


图 1-1 调度算法

1) 精确算法

精确算法 (optimization) 包括解析方法 (efficient methods) 和枚举方法 (enumerative methods)。枚举方法又包括数学方法 (比如: 拉格朗日松弛法、整数规划、混合整数规划等) 和分支定界法。精确算法可获得最优解, 但随问题规模的增大, 计算时间呈指数增长, 因此只能求解小规模问题。目前, 研究较多的是分支定界 (branch and bound, B&B) 法。

2) 近似值算法

精确算法具有局限性, 且许多现实的调度问题只需要在可行的时间内获得满意的解, 而无需最优解。因此, 很多学者将研究的重点放在了近似解的获取上, 相继提出大量的近似值算法 (approximation), 也称启发式算法, 主要可分为构造型和改进型启发式算法两