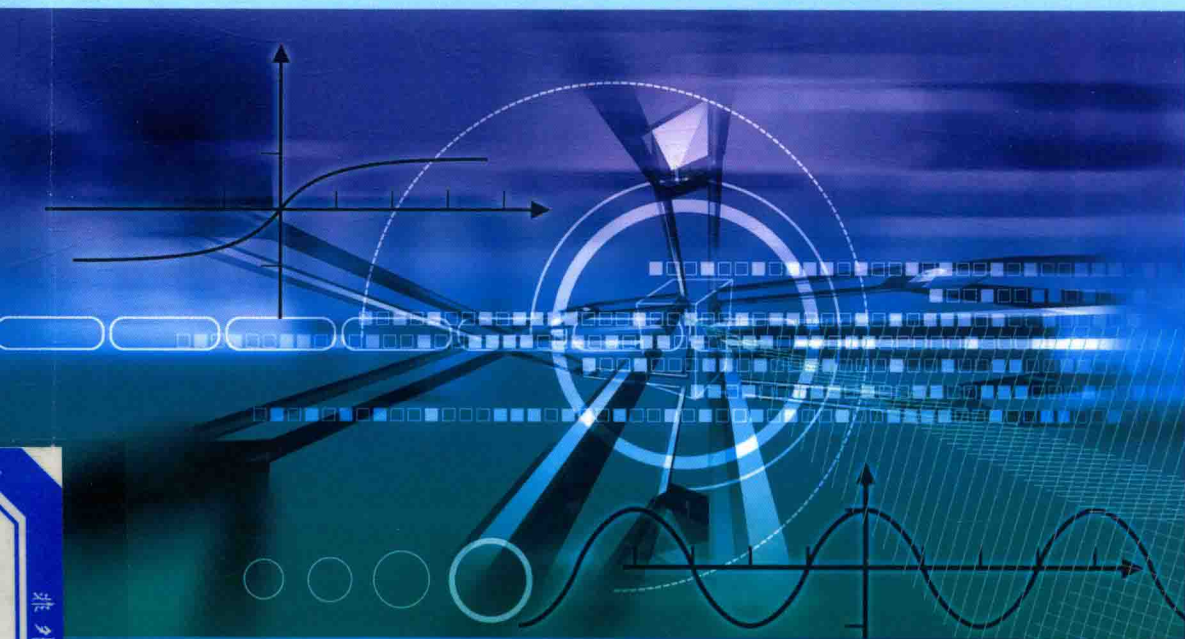


复杂窗时排序问题及算法研究

赵洪奎 ◎ 著



非外借

 科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

复杂窗时排序问题及算法研究

赵洪鑫 著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

复杂窗时排序问题及算法研究 / 赵洪奎著. —北京: 科学技术文献出版社, 2017. 12

ISBN 978-7-5189-3644-1

I. ①复… II. ①赵… III. ①排序—研究 IV. ①O223

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 289321 号

复杂窗时排序问题及算法研究

策划编辑: 周国臻 责任编辑: 周国臻 马新娟 责任校对: 文 浩 责任出版: 张志平

出 版 者 科学技术文献出版社
地 址 北京市复兴路15号 邮编 100038
编 务 部 (010) 58882938, 58882087 (传真)
发 行 部 (010) 58882868, 58882874 (传真)
邮 购 部 (010) 58882873
官方网 址 www.stdp.com.cn
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印 刷 者 虎彩印艺股份有限公司
版 次 2017年12月第1版 2017年12月第1次印刷
开 本 710×1000 1/16
字 数 114千
印 张 9.5
书 号 ISBN 978-7-5189-3644-1
定 价 48.00元



版权所有 违法必究

购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前言

Preface

生产调度是根据企业生产系统的生产目标和环境状态,在尽可能满足约束条件(如交货期、工艺要求和路线、资源现状)的前提下,按照工艺规程和计划,通过下达生产计划及调度指令对系统内的可用资源进行实时任务分配,以达到缩短产品的制造周期、减少在制品、降低库存、提高生产资源的利用率及提高制造系统生产率等目的。

影响生产调度问题的因素很多,正常情况下有产品的投产期、交货期(完成期)、生产能力、加工顺序、加工设备和原料的可用性、批量大小、加工路径、成本限制等,这些都是所谓的约束条件。有些约束条件是必须要满足的,如交货期、生产能力等,而有些达到一定的满意度即可,如生产成本等。

为了避免储存及隐藏的额外运转带来的高费用,例如,由于等待、传递、额外劳动力、重加工及订单改变等引起的效益损失,生产商不仅考虑延误带来的惩罚还必须顾及提前完工付出的费用,这就是准时排序问题。它限定工件的交货期:如果工件在交货期之前完工,会出现储存费和保管费之类;而在交货期之后完成,固然要科以罚款,则会产生延误赔偿甚至失去合作机会等损失。而准时排序的目的就是要最小化这些费用之和,所以,在“准时”概念中,尽可能使得工件的完工时间接近其交货期或者提前和延误的工件个数尽量少。因此,提前和延误应该尽可能地避免,这也使得以前讨论的传统性能

函数无效。既然目标函数是关于工件完工时间的非正则函数,问题的研究相对比较困难。

现实中,供应商和客户在签订供应合同时,通常会指定一个交货时间区间,如果工件在这个时间区间内完成则被认为是准时的,不会招致任何处罚。它是将交货期合理地设置成一个时间段,而不再是单个时间点,这种排序称为窗时排序。我们把这个时间区间称为工件的交货期窗口,该窗口的左端为最早交货期(或称“交货期窗口的位置”)、右端为最晚交货期。如果工件在窗时交货期前完成,则必须被库存,这种情况视为一个提前处罚。另外,如果工件在交货期窗口后完成,根据合同中的规定,它将导致延迟惩罚。显然,如果交货期窗口较大则可以增加供应商生产和输送的灵活性。然而,设置大型的交货期窗口和延迟工件完成时间都会降低供应商的竞争力和客户服务水平。所以交货期窗口的设置也经常成为问题的目标之一。

本书探讨的内容都是对经典排序的突破,研究现代排序与准时、窗时排序的结合应用,目的是为了在新型排序环境下,使某个衡量函数最大或者最小,如提前时间、延误时间、提前或延误的工件个数及交货期窗口的确定等。

粗略来讲,有两类相关的惩罚函数。一类目标函数中,提前和延误惩罚依赖于工件是否提前或延误,而不是提前或延误了多长时间。这类问题关注的是提前和延误的赋权工件数。另一类是提前时间和延误时间所带来的惩罚,即与完工时间距离交货期窗口的时间差成正比。此类目标函数既普遍又具备很强的竞争力。另外,交货期窗口的位置和大小也具有一定的决策意义,被很多生产商作为衡量有效性的一个重要指标。例如,决定订单数量及耗费资源计划等,所以它们往往作为决策变量,需要与工件的最优序列一起确定。本书探讨复杂生产环境下窗时排序问题的一些特点和解决方法,总结如下。

①就交货期窗口的位置和大小是给定还是待定的几种情况进行了讨论,针对目标函数是关于提前、延误的工件个数或者时间,以及它们的综合目标函数展开研究,充分利用了工件位置的累计权重,并提出相应的有效算法。

②讨论了工件有公共交货期窗口的同时加工排序问题,工件的尺寸大小相同,在交货期窗口给定或其位置待定情况下,以最小化总的提前和延误惩罚;并且如果交货期窗口是待定参数时,总费用包含该决策费用。针对两种目标函数分别研究;尤其当批的容量有限时,乃是经典排序的推广。在寻找它们的最优算法时,“位置权”已不再有效。

在以前关于同时加工排序问题的研究中,只有几篇文献涉及交货期的存在性,以最小化总延误或最大延误。本书把窗时排序推广到了多个工件可以被同时加工的情况,目标是要把工件分成多个批、再排列批的次序使得总费用最低。在提出最优性质和参数分析的基础上,给出了批容量无界时的一些有效算法。研究有界的同时加工排序问题。当提前和延误惩罚系数是任意整数且窗口位置待定时,把 3-划分的一个实例转化到该问题,从而证明了它是强 NP-完备的。进而提出几个最优性质,但最优排序已不再满足 SPT-批序,问题更加难于研究。

③现实生产中有以下情形:具有相似特征的一些工件需要相同的生产场景和设备,所有工件被分成多个组,于是从加工一个组的工件转化到加工另一个组的工件时需要执行安装任务。正是由于安装任务的介入使得问题更加困难。讨论当交货期窗口给定时以最小化赋权提前时间和延误时间总和的问题,问题的复杂性未知。本书探讨了最小化提前和延误的工件个数,其中交货期窗口的位置待定或者位置和大小均待定。

④批调度问题中每个工件有其特定的尺寸大小,即差异工件,同

一批中工件的总尺寸不能超过批的容量限制,因此,包含在每一批中的工件个数可能不同。研究加工时间、尺寸等参数对费用的影响及最优调度所具有的结构特点,并提出了启发式算法,该算法充分利用了参数信息并简便易行。

本书通过对上述研究内容和创新点的讨论,深入分析各种生产环境因素对总费用的影响,建立综合性的目标函数表达式,分析参数特点及最优解的结构化性质,得出相应的算法并分析其复杂性。

目 录 | Contents

第1章 绪 论 /1

- 1.1 排序问题的背景及描述 /1
- 1.2 现代排序 /4
- 1.3 算法中的几个重要概念 /7
- 1.4 准时排序及相关结果 /11
- 1.5 窗时排序及相关结果 /15
- 1.6 符号表示 /20
- 1.7 本书的贡献与组织结构 /21

第2章 最小化提前/延误的赋权工件个数 /24

- 2.1 引言 /24
- 2.2 交货期窗口的位置待定 /25
- 2.3 交货期窗口的大小待定 /33
- 2.4 交货期窗口的位置和大小均待定 /34
- 2.5 给定的交货期窗口 /37
- 2.6 推广到多台平行机 /38
- 2.7 结语 /41

第3章 最小化提前和延误时间惩罚 /42

- 3.1 引言 /42
- 3.2 交货期窗口给定 /43

3.3 交货期窗口的位置待定 /48

3.4 多个综合目标 /51

3.5 推广到多台机器 /56

3.6 结语 /60

第4章 有交货期窗口的无界批处理 /61

4.1 批处理问题 /61

4.2 相关研究结果 /63

4.3 给定的交货期窗口 /65

4.4 交货期窗口的位置待定 /72

4.5 结语 /74

第5章 关于非准时工件数的有界批处理 /75

5.1 问题描述 /75

5.2 最优性质 /77

5.3 几种可解的情况 /79

5.4 当交货期窗口位置和大小待定时 /83

5.5 结语 /85

第6章 有界批处理问题以最小化提前和延误惩罚 /87

6.1 引言 /87

6.2 最优性质 /88

6.3 可解的特殊情况 /92

6.4 结语 /94

第7章 交货期窗口待定的成组分批排序 /96

7.1 引言 /96

7.2 问题描述 /97

- 7.3 交货期窗口的位置 e 待定 /98
- 7.4 交货期窗口的位置和大小均待定 /102
- 7.5 结语 /106

第 8 章 差异工件的窗时排序问题 /107

- 8.1 问题背景及发展现状 /107
- 8.2 问题描述及特点 /109
- 8.3 启发式算法求解 /115
- 8.4 结语 /121

第 9 章 总结与展望 /122

- 9.1 总结 /122
- 9.2 展望 /123

参考文献 /125

致 谢 /141

第 1 章 绪 论

1.1 排序问题的背景及描述

随着科学技术的发展,生产规模越来越大,复杂性越来越高,市场竞争也越来越激烈,因此,对企业的管理和对生产过程的监控都提出了更高的要求。近几十年,各类生产过程都已经发生了显著的变化,其主要特征是生产规模的大型化和生产过程的连续化。在激烈的市场竞争中,为了保证生产的高效稳定运行,以获得最大的经济效益,原来简单的、局部的、常规的控制和仅凭经验的管理已经不能满足现代生产的要求了。企业管理者和控制工程师们面临的问题是:如何根据市场上原料供应和产品需求的变化进行经营决策和组织生产;如何在生产计划改变的情况下对生产过程进行控制,以便最大限度地发挥生产的柔性;如何在生产工艺改变不大的前提下进行管理、决策,使企业产生最大的综合经济效益。

作为实施计算机集成制造系统(CIMS)和流程工业计算机集成制造系统(CIPS)的重要环节,生产调度就是根据企业生产系统的生产目标 and 环境状态,在尽可能满足约束条件(如交货期、工艺要求和路线、资源现状)的前提下,按照工艺规程和计划,通过下达生产计划及调度指令对系统内的可用资源进行实时任务分配,以达到缩短产品的制造周期、减少在制品、降低库存、提高生产资源的利用率及提高制造系统生产效率等目的。随着计算机与网络技术的发展与广泛应用,实现计算机集成制造系统的条件已经基本具备,国内外企业非常迫切需要实现计算机辅助制订企业生产计划与调度,以加强企业管

理、降低生产成本、降低能耗,从而提高经济效益。而生产计划与调度是目前生产管理中最薄弱、最为困难的一环,已成为目前计算机集成制造系统研究中的一个瓶颈问题,也是目前学术界、企业界共同关注的热点课题。实践证明,先进的生产计划与调度技术对提高生产效率和经济效益有重要的作用,实现生产过程的最优化是企业期望早日实现的重大目标之一。

调度问题也称排序问题,它作为运筹学的一个分支,有着深刻的实际意义和广阔的应用背景,被广泛应用于生产计划、计算机控制及其他很多的生产环境中,将使得系统更加优化。排序是指在一定的约束条件下对工件和机器按时间进行分配和安排次序,使某一个或某一些目标达到最优;工件是被加工的对象,是要完成的任务;机器是提供加工的对象,是完成任务所需要的资源。

实际上,用“排序”或“调度”来作为 scheduling 的中文译名都只是描述了它的一个侧面。Scheduling 既有“分配(allocation)”的作用,是把被加工的对象“工件”分配给提供加工的对象“机器”以便进行加工;又有“排序”的功能,有被加工的对象“工件”的次序和提供加工的对象“机器”的次序这两类次序的安排;还有“调度”的效果,是在于把机器和工件按时间进行调度。

影响生产调度问题的因素很多,正常情况下有产品的投产期、交货期(完成期)、生产能力、加工顺序、加工设备和原料的可用性、批量大小、加工路径、成本限制等,这些都是所谓的约束条件。有些约束条件是必须要满足的,如交货期、生产能力等,而有些达到一定的满意度即可,如生产成本等。这些约束在进行调度时可以作为确定性因素考虑。而对于设备故障、原料供应变化、生产任务变化等非正常情况,都是事先不能预见的,在进行调度时大多作为不确定性因素考虑。

生产调度问题也受到工厂管理方法的影响,在不同的管理方法下,调度问题的优化目标、优化策略及其优化数学模型均不同,几乎

每一个生产环境都是唯一的,很难用一个生产环境的调度方案,去解决另一个生产环境的生产调度。由于生产环境的动态性、生产领域知识的多样性、调度问题的复杂性,必须将人、数学方法和信息技术结合起来进行生产领域管理调度问题的研究。

总之,调度问题具有以下一些特点。

(1) 复杂性

以生产调度具体化说,调度问题中从原材料到产品将包罗各种操作,任务相互影响相互作用,此外产品工艺也存在多样性,环境条件带有各种不确定性,随着调度问题规模的增加,获取优质调度方案和求解问题所需花费的时间将不可避免地大幅增加。用公式和模型表达调度问题可能相对较为容易,但是要求解这类问题得到最优解就是另外一回事了。已经证明,大部分调度问题都具有NP-hard特性,其难解性的表现之一就是在实际求解时获得一个最优调度解的时间会随着问题规模的增大呈指数级增加,因此,常规方法难以适应大规模调度问题的求解。如今人们不再苛求能够在所需时间找出问题的最优解,而转为针对具体的组合优化问题设计相应算法,使得在尽可能短的时间内找出尽可能好的解,即通常所说的次优解。

(2) 多约束性

现实中的生产调度要受到设备生产能力、人力、原料供应及其他辅助生产工具等多种资源有限的约束,同时工件的处理往往也要受到严格的工艺流程路线等约束,各道工序的先后关系不能颠倒。除此之外,市场需求、产品的交货期和库存等也是常见的约束。所以,车间调度问题本质上也可以看作一个在若干等式和不等式约束下的组合优化问题,众多的约束限制也使得调度问题建模和求解更为复杂。

(3) 不确定性

制造系统的加工环境是不断变化的,在运行过程中存在着很多随机和不确定的因素。按照不确定因素的来源,企业经营和生产过

程的不确定因素可以分为系统固有的不确定性、生产过程中产生的不确定性、外部环境的不确定性及离散不确定性。具体的如实际生产线中经常会随机出现机器故障、订单突然插入或变更、交货期改变等情况,实际工件的到达时间、加工时间等也有一定的随机性和变化。

(4) 多目标性

在生产调度问题中,针对不同的加工任务有不同的调度目标,如基于作业交货期的指标、基于作业完成时间的指标和基于生产成本的指标等,并且这些目标之间往往是存在冲突的,同时使得多个目标都达到最优往往是很难实现的。如何使调度系统适应不同的任务类型和规模,或者综合考虑多个目标,一直是该领域所追求的目标也是面临的难题之一。

1.2 现代排序

生产调度(以下简单地称为“排序”)问题一般可以描述为:针对某项可以分解的工作,在一定的约束条件下,如何安排其组成部分(操作)所占用的资源、加工时间及先后顺序,以获得产品制造时间或者成本等最优。排序问题可分为经典排序和现代排序。后者是相对前者而言,其特征是突破经典排序的基本假设。经典排序有以下4个基本假设。

①资源的类型。机器是加工工件所需要的一种资源。经典排序假设一台机器在任何时刻最多只能加工一个工件;同时要求一个工件在任何时刻至多在一台机器上加工。作为这个基本假设的突破,有本书重点探讨的成组分批排序、同时加工排序等。

②确定性。经典排序假设决定排序问题的一个实例的所有输入参数都是事先知道和完全确定的。作为这个基本假设的突破,有可控排序、模糊排序、在线排序等。

③可运算性。经典排序是在可以运算、可以计算的程序上研究

排序问题,而不去顾及如何确定工件的交货期、如何配备设备等技术上的问题。而本书中待定交货期的窗时排序问题是对经典排序的突破。

④单目标和正则性。经典排序假设排序的目的是衡量排法好坏的一个一维目标函数满足两个条件:a. 目标函数是求最小值;b. 至少有一个工件的完工时间增加时会导致目标函数增加,即工件完工时间的单调非降函数。这就是所谓的正则目标。而本书中的准时排序、窗时排序都是具有非正则目标的现代排序。

因此,本书将要探讨的内容都是对经典排序的突破,研究现代排序与准时、窗时排序的结合应用,目的是为了在新型排序环境下,使某个衡量函数最小,如提前时间、延误时间、提前或延误的工件个数及交货期窗口的确定等。

按照机器资源,有单台机器和多台机器之分,单台机器可分为一次只能加工一个工件和一次可以加工多个工件的机器,后者称为批处理机。多台机器又可以分为两大类:通用平行机和专用串联机。一个工件在 m 台平行机上的加工是只需要在这 m 台机器中的任何一台上加工一次;一个工件在 m 台串联机上的加工是需要在这 m 台机器中的每一台上都加工一次。平行机中最常见的是具有相同速度的同型机即等同机。串联机中最常见的是每个工件以特定的相同的机器次序加工,即流水线作业。如果机器正在加工工件,则称此机器是不空闲的、忙的或正在忙碌的;反之,如果机器此刻没有加工工件,则称此机器是空闲的。

一个工件在加工过程中,如果可以被别的工件抢先而中断加工,并稍后在原来机器或其他机器上继续加工,这种情况称为中断加工。根据中断后再加工的方式,一种是中断前后加工时间的和与不中断是一样的,称为可续性中断;还有一种是中断后都要从头开始,称为重复性中断。后者对中断加工的工件没有好处,对生产过程徒劳无益,因此,加工是不允许中断的。

排序问题由于在实际生产中的重要指导作用,从20世纪50年代开始就被广泛研究并得到了大量相关结果。对于一个排序,是要把 n 个工件以一定的次序排到 m 台机器上,其中 n, m 均为整数。工件的生产指标通常包括其加工时间、到达时间、交货期及相应的权重等;它们被排到单台或多台机器上进行加工。所有满足条件的解均称为可行解,它们的全体称为排序问题的可行集。使目标函数为最优的可行解,称为最优解。

根据任务集合及目标函数的性质,又可以把排序分以下几类。

①可中断排序与不可中断排序。可中断排序是指可以中断正在加工的工件而去加工其他准备好的工件,当后者加工完成后再加工被中断的工件。相反地,不可中断排序则必须等到加工完当前工件才考虑加工其他工件。

②静态排序与动态排序。静态排序中,在加工开始时做出的安排,不会随着时间而改变。而在动态排序中,在一个时刻决定哪些工件在哪些机器上加工的安排可以随时间变化而不同。在确定性排序问题中,静态排法根据在开始加工时做出的安排可以确定整个加工过程,确定当时所有工件和机器的状况。而在动态排序中,出现一些随机变量,无法预先确定在某一时刻哪些机器在加工哪些工件,但需要能根据这个时刻及这个时刻之前的信息及时做出安排。

③离线排序与在线排序。在加工系统运作之前,整个工件集合的排列决策就已经确定的排序为离线排序,这样得到的结果能够保证某些条件限制或者目标函数最优化。而在线排序中,决定当前工件的加工时对其后面就绪的工件信息一无所知,并且一旦确定工件的安排后就不允许改变。

④最优化算法与启发式算法。最优化算法是要最小化某些费用函数或者最大化收益函数。而启发式算法则是尽力优化但不能保证最优。

在关于调度问题的研究文献中,常用的性能标准有以下几种。

①最大能力指标,包括最大生产率、最短生产周期等,它们都是在产品需求下最大化生产能力以提高经济效益。体现该类性能指标的主要有最大完成时间或制造跨度,是指调度的最小生产周期,即所有工件的最大完成时间的最小值。在调度问题的研究中,这个指标最为普遍。还有加入权重考虑的总体加权完成时间。

②成本指标,包括最大利润、最小化运行费用、最小投资、最大收益等,这里的收益指产品销售收入,运行费用包括库存成本、生产成本、缺货损失等。

③客户满意度指标,包括最短延迟、最小提前或者拖后惩罚等。例如,最大延迟时间、最大拖期时间、最大提前时间、总体加权延迟时间、总体加权提前时间、加权延期工件数等。实际上,提前时间和延迟时间都是指工件的完成时间与交货期时间的差值,差值为正则表示加工任务被延迟,差值为负则意味着任务被提前完成,而延迟交货和提前完成无法交货都要付出代价。这两个指标在实时调度领域中的问题里毫无疑问是最重要的。

上述的大部分性能指标在使用时都是力图最小化。

1.3 算法中的几个重要概念

本书所有出现的排序都是指 scheduling,而不是指 sequence,不能把“排序”理解为“安排次序”。另外,还会用到“可行排序”或“最优排序”“可行解”或“最优解”。由于绝大多数排序问题是 NP 难题,其最优解往往很“难”找到。而且在实际应用中经常是没有必要找到最优解,只需找到满足一定条件的启发式解或者近似解。因此,研究排序问题主要有两个方向,一个是对 P 问题,即可解问题,寻找多项式时间算法(又称为“有效算法”)来得到问题的最优解,或者对 NP 难问题在特殊情况下寻找有效算法,也就是研究 NP 难题的可解情况。二是设计性能优良的启发式算法和近似算法。当然,无论是启发式算法还是近似算法都应该是多项式时间的。实际上, NP 难题可解情