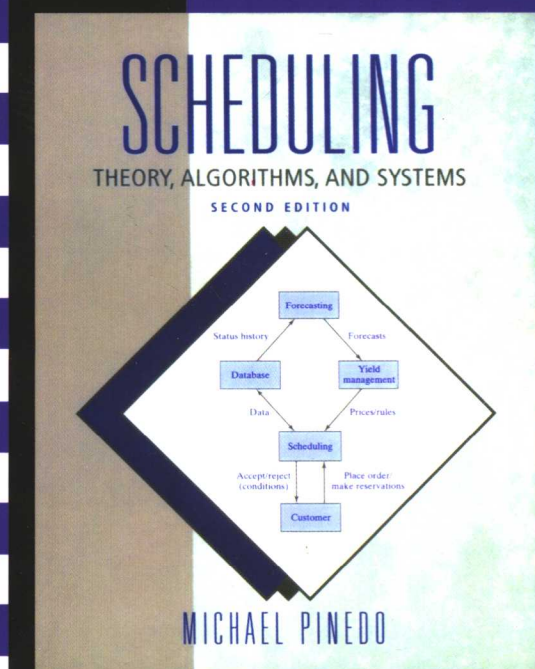


国外大学优秀教材——工业工程系列·(翻译版)

调度：原理、算法和系统

(第2版)

(美) Michael Pinedo 著
张智海 译



清华大学出版社



国外大学优秀教材——工业工程系列（翻译版）

调度：原理、算法和系统

（第2版）

（美）Michael Pinedo 著
张智海 译

清华大学出版社
北京

Simplified Chinese edition copyright © 2007 by PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and TSINGHUA UNIVERSITY PRESS.

Original English language title from Proprietor's edition of the Work.

Original English language title: Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems, second edition by Michael Pinedo, Copyright © 2000

EISBN: 0-13-028138-7

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice-Hall, Inc..

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macao).

本书中文简体翻译版由培生教育出版集团授权给清华大学出版社在中国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区)出版发行。

北京市版权局著作权合同登记号 图字 01-2005-5089 号

本书封面贴有 Pearson Education(培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

调度:原理、算法和系统:第2版/(美)平多(Pinedo, M.)著;张智海译.一北京:清华大学出版社, 2007.8

(国外大学优秀教材.工业工程系列:翻译版)

书名原文: Scheduling: Theory, Algorithms, and System, 2e

ISBN 978-7-302-15310-8

I. 调… II. ①平… ②张… III. 工业企业管理—生产调度—高等学校—教材 IV. F406.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第078023号

责任编辑:张秋玲

责任校对:刘玉霞

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社总机:010-62770175

投稿咨询:010-62772015

地址:北京清华大学学研大厦A座

邮编:100084

邮购热线:010-62786544

客户服务:010-62776969

印刷者:北京季蜂印刷有限公司

装订者:三河市溧源装订厂

经销:全国新华书店

开本:185×230 印张:29.5

字数:603千字

版次:2007年8月第1版

印次:2007年8月第1次印刷

印数:1~3000

定价:49.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:020158-01

第1版序言

排序和调度是决策的一种形式,在制造业和服务业中扮演着关键的角色。在当前的竞争环境中,有效的排序和调度已经成为在市场中生存的必要条件。公司必须满足它们向顾客承诺的提交日期,不然就会造成重大的信誉损失。它们也必须以这样的方式来计划各项活动,以便有效地利用可用资源。

20世纪初,在 Henry Gantt 和其他先驱者的努力下,调度开始在制造业中受到重视。然而,过了很多年第一批有关调度的出版物才在工业工程和运筹学的文献中出现,有些于 20 世纪 50 年代早期出现在 *Naval Research Logistics Quarterly*,包含了 W. E. Smith, S. M. Johnson 和 J. R. Jackson 的成果。60 年代,人们在用动态规划和整数规划对调度问题建模方面做了大量的工作。Richard Karp 的关于复杂度理论的著名论文发表之后,70 年代的研究主要集中在调度问题的复杂度层次。80 年代,随着人们对随机调度问题关注的增加,学术界和工业界在不同的方向展开研究。另外,随着个人计算机开始广泛应用于制造设备中,人们开发出了生成实际可用调度计划的系统。无论过去还是现在,这种调度系统的设计和开发都是计算机科学家、运筹学专家和工业工程师共同完成的。

这本书是哥伦比亚大学的调度理论和应用课程建设的成果。本书主要论述机器调度模型。第 I 部分讨论确定性模型;第 II 部分是随机模型;第 III 部分讨论应用问题。最后一部分讨论实际中的调度问题并且检验理论和实际问题的关系。从这些检验中可以清楚地看到,调度理论的发展只对实际中的调度问题产生了有限的影响。希望几年之后能够有应用部分扩大的第 2 版,能够显示出与理论部分更强的关联。

本书受益于许多人的仔细审阅。Reha Uzsoy 和 Alan Scheller Wolf 仔细审查了全部手稿。Len Adler, Sid Browne, Xiuli Chao, Paul Glasserman, Chung-Yee Lee, Young-Hoon Lee, Joseph Leung, Elizabeth Leventhal, Rajesh Sah, Paul Shapiro, Jim Thompson, Barry Wolf 和几百个哥伦比亚大学选过调度课程的学生对手稿的改进提出了很多宝贵的意见。

作者非常感谢国家自然科学基金连续的夏季支持,使得完成本项目成为可能。

MICHAEL PINEDO

纽约,1994

第2版序言

本书内容经过了有意义的扩展,新增了5章。在确定性部分(即第Ⅰ部分),单机、加工车间、开放车间的内容有了相当的扩展。在随机部分(即第Ⅱ部分),整个新的一章集中讨论了带工作提交时间的单机调度问题。之所以增加这一章是因为教师们有很多要求,他们想看到随机调度和优先队列之间的联系。这一章建立了这种联系。第Ⅲ部分,也就是应用部分,内容扩展得最多。关于常用方法现在共有两章,代替了只介绍一般目标方法的单一章节。其中第2个章节涵盖了多种相对较新的、过去几年受到相当关注的技术。另外,第17章讨论了调度系统的设计和开发。这章集中于再调度、学习机制等。关于系统应用实例的第19章是全新的,描述的所有系统都是最近开发的。最后一章讨论了一些在未来几年可能成为热点的研究题目。

本书有对应网站:

<http://www.stern.nyu.edu/~mpinedo>

并尽可能保持站点具有最新的内容,其中包括对教师和学生都可能有用的其他网站链接。

许多在过去几年使用过本书的老师发来了非常有用的意见和建议。几乎所有的意见都促成了手稿的改进。

Reha Uzsoy 像往常一样,仔细审查了手稿。Salah Elmaghraby, John Fowler, Celia Glass, Chung-Yee Lee, Sigrid Knust, Joseph Leung, Chris Potts, Steve Smith, Levent Tuncel, Amy Ward, Guochuan Zhang, Subhash Sarin 和 Wilbert E. Wilhelm 都提出了意见,导致了实质上的改进。

许多学生,包括 Gabriel Adei, Yo Huh, Maher Lahmar, Sonia Leach, Michele Pfund, Edgar Possani 和 Aysegül Toptal 指出了初稿中的许多错误。

没有工业界许多朋友的帮助,就不可能写出在工业应用方面有意义的一章。感谢 SAP 公司的 Heinrich Braun 和 Stephan Kreipl, IBM 公司的 Rama Akkiraju, i2 公司的 Margie Bell, Cybertec 公司的 Emanuela Rusconi 和 Fabio Tiozzo, 以及 SynQuest 公司的 Paul Bender。

MICHAEL PINEDO

纽约, 2001

目 录

第 1 版序言	I
第 2 版序言	III
第 1 章 引言	1
1.1 调度的任务	1
1.2 调度在企业中的作用	3
1.3 本书大纲	5
注释和参考文献	6
第 I 部分 确定性模型	
第 2 章 确定性模型: 预备知识	11
2.1 框架和符号	11
2.2 实例	16
2.3 调度分类	17
2.4 复杂度层次	20
练习(计算)	22
练习(理论)	24
注释和参考文献	26
第 3 章 单机模型(确定性模型)	27
3.1 总加权完成时间	27
3.2 最大延迟	32

3.3	滞后工作的数量	36
3.4	总滞后时间	38
3.5	总加权滞后时间	41
3.6	讨论	44
	练习(计算)	45
	练习(理论)	46
	注释和参考文献	48
第4章	更高级的单机模型(确定性模型)	50
4.1	总滞后时间:一个近似方案	50
4.2	总提前时间和总滞后时间	53
4.3	主要目标和次要目标	59
4.4	多目标:参数分析	61
4.5	顺序决定准备时间的制造期	64
4.6	讨论	70
	练习(计算)	71
	练习(理论)	72
	注释和参考文献	73
第5章	并行机模型(确定性模型)	75
5.1	无中断的制造期	75
5.2	可中断的制造期	83
5.3	无中断的总完成时间	89
5.4	可中断的总完成时间	92
5.5	与工期相关的目标	94
5.6	讨论	96
	练习(计算)	96
	练习(理论)	99
	注释和参考文献	101
第6章	流水车间和柔性流水车间(确定性模型)	103
6.1	中间储存无限的流水车间	103
6.2	中间储存有限的流水车间	113
6.3	中间储存无限的柔性流水车间	118

练习(计算).....	119
练习(理论).....	121
注释和参考文献.....	123
第 7 章 加工车间(确定性模型)	124
7.1 析取规划和分支定界	124
7.2 转换瓶颈启发式算法和制造期	132
7.3 转换瓶颈启发式算法和总加权滞后时间	138
7.4 讨论	143
练习(计算).....	144
练习(理论).....	145
注释和参考文献.....	146
第 8 章 开放车间(确定性模型)	148
8.1 无中断的制造期	148
8.2 允许中断的制造期	151
8.3 无中断下的最大延迟	153
8.4 允许中断的最大延迟	156
8.5 误工个数	160
8.6 讨论	160
练习(计算).....	161
练习(理论).....	163
注释和参考文献.....	164

第 II 部分 随机模型

第 9 章 随机模型:预备知识	167
9.1 框架和符号	167
9.2 分布及其分类	168
9.3 随机序	171
9.4 随机性对固定调度的影响	173
9.5 策略种类	176
练习(计算).....	178
练习(理论).....	179
注释和参考文献.....	180

第 10 章 单机模型(随机模型)	182
10.1 不可中断任意分布问题	182
10.2 可中断的任意分布:Gittins 指标	187
10.3 似然比随机序列分布	192
10.4 指数分布	194
练习(计算)	199
练习(理论)	200
注释和参考文献	202
第 11 章 带工作提交时间的单机模型(随机模型)	203
11.1 任意提交时间、任意加工时间、工作无中断情况	204
11.2 优先级队列、工作量守恒和泊松提交情况	205
11.3 任意提交时间且加工时间满足指数分布的工作可中断情况	209
11.4 泊松提交且任意加工时间的工作不可中断情况	214
11.5 讨论	218
练习(计算)	219
练习(理论)	221
注释和参考文献	222
第 12 章 并行机模型(随机模型)	223
12.1 不可中断的制造期	223
12.2 可中断的制造期和总完成时间	231
12.3 与工期相关的目标	237
练习(计算)	238
练习(理论)	239
注释和参考文献	241
第 13 章 流水车间、加工车间和开放车间模型(随机模型)	242
13.1 具有无限中间存储的随机流水车间模型	242
13.2 有阻塞的随机流水车间	247
13.3 随机的加工车间	251
13.4 随机开放车间	252
练习(计算)	257

练习(理论).....	258
注释和参考文献.....	260

第Ⅲ部分 调度应用

第 14 章 实际中调度的常用方法	263
14.1 分派规则.....	263
14.2 复合分派规则.....	265
14.3 过滤束搜索法.....	269
14.4 局部搜索:模拟退火法和禁忌搜索法	271
14.5 局部搜索:遗传算法	277
14.6 讨论.....	278
练习(计算).....	278
练习(理论).....	280
注释和参考文献.....	282
第 15 章 更高级的通用方法	283
15.1 分解法与滚动时间法.....	283
15.2 约束引导的启发式搜索.....	287
15.3 基于市场与基于代理的方法.....	294
15.4 多目标调度问题的调度方法.....	299
15.5 讨论.....	304
练习(计算).....	305
练习(理论).....	307
注释和参考文献.....	308
第 16 章 现实调度问题的建模与解决	309
16.1 现实中的调度问题.....	309
16.2 流水线的循环调度.....	312
16.3 带有限缓存和旁路的柔性流水线调度.....	316
16.4 无限缓存并存在准备时间的柔性流水线调度.....	321
16.5 带提交日期和工期的并行机调度.....	326
16.6 讨论.....	326
练习(计算).....	327
练习(理论).....	328

注释和参考文献	330
第 17 章 调度系统的设计、开发和实现	331
17.1 系统架构	331
17.2 数据库和知识库	332
17.3 调度生成	336
17.4 用户界面和交互优化	338
17.5 通用系统与面向特殊应用的系统	343
17.6 实施和维护	345
练习	347
注释和参考文献	348
第 18 章 调度系统设计高级篇	350
18.1 调度的健壮性和灵活性	350
18.2 机器学习机制	354
18.3 调度系统的设计以及算法库	358
18.4 可重构的调度系统	361
18.5 网络调度系统	363
18.6 讨论	365
练习	365
注释和参考文献	366
第 19 章 系统设计和实施案例	368
19.1 SAP-APO 系统	368
19.2 IBM 的独立代理结构	370
19.3 i2 的 TradeMatrix 生产调度模块	374
19.4 Cybertec 公司 Cyberplan 软件的应用	380
19.5 SynQues 的虚拟生产引擎	383
19.6 用于研究和教学的 LEKIN 系统	387
19.7 讨论	393
注释和参考文献	394
第 20 章 未来的发展	395
20.1 理论研究	395

20.2 应用研究·····	397
20.3 系统开发和集成·····	399
注释和参考文献·····	400

附 录

附录 A 数学规划:公式和应用 ·····	405
A.1 线性规划问题建模·····	405
A.2 整数规划建模·····	408
A.3 析取规划建模·····	411
注释和参考文献·····	412
附录 B 确定性和随机动态规划 ·····	413
B.1 确定性动态规划·····	413
B.2 随机动态规划·····	416
注释和参考文献·····	417
附录 C 复杂度理论 ·····	418
C.1 预备知识·····	418
C.2 多项式时间解决方法与 NP 难·····	420
C.3 例·····	422
注释和参考文献·····	425
附录 D 确定性调度问题的复杂度分类 ·····	426
注释和参考文献·····	428
附录 E 随机调度问题总结 ·····	429
注释和参考文献·····	431
附录 F 调度系统的选择 ·····	432
注释和参考文献·····	433
参考文献 ·····	434

1.1 调度的任务

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。它是一个决策过程,其目的是优化一个或多个目标。

组织中的资源和任务会呈现为多种形式。车间里的机器、机场的跑道、建筑场所的工作团队、计算环境中的处理单元等,都可以看作资源。任务则可能是生产过程中的操作、机场飞机的起飞和着陆、建筑项目的各个阶段、计算机程序的执行等。每个任务可能有某种优先级水平、最早可能开始时间和工期。目标也同样会呈现出多种形式。一个目标可能是最小化最后一项任务的完成时间,而另一个目标可能是最小化超过工期才完成的任务数量。

调度是一个决策过程,它在大多数的制造和生产系统以及大多数的信息处理环境中扮演着重要的角色。它同样存在于运输和配送设施以及其他类型的服务业中。下面3个实例说明了调度过程在实际生活情形中所扮演的角色。

例 1.1.1(纸袋厂)

考虑一个生产水泥、木炭、狗食等纸袋的工厂。这种作业的基本原材料是纸卷。生产过程由3个阶段组成:印刷标识、纸袋侧面粘接、纸袋一端或两端缝制。在每一个阶段,用到许多不同的机器。同一阶段里的机器可能在运行的速度、印刷颜色的数量、可处理纸袋的大小等方面略有不同。每个生产订单都说明了某一特定纸袋的数量,这种纸袋必须在承诺的发运日期或工期生产出来并发运出去。不同操作的处理时间与订单数量(即所订袋子的数量)成比例。

延迟交货意味着以信誉损失的形式受到惩罚,惩罚的程度则取决于订单或顾客的重要性和滞后程度。调度系统的目标之一就是最小化这些惩罚之和。

当一台机器由一种类型的纸袋转为另一种时,要有一段准备时间。这台机器准备时间的长度取决于连续订单之间的相似度(相同颜色的数量、纸袋大小的差别等)。调度系

统的另一个目标是 minimized 耗在准备上的时间总和。

例 1.1.2(机场登机口分配)

考虑一个大型机场的候机室,有许多登机口,每天有几百架飞机出发和到达。这些登机口都不一样,每架飞机也不相同。一部分登机口处有很大的空间,很容易容纳下大型飞机(宽机身的)。另一部分登机口位于那些飞机很难进入的地方。事实上,有些飞机可能需要被拖到它们的登机口处。

飞机根据某个调度到达和出发。然而,调度却在很大程度上受限于由诸如天气或其他机场事情所引发的随机因素。在飞机占据登机口的时间里,到达的乘客必须下飞机,飞机需要维修和保养,而出发的乘客必须上飞机。计划好的出发时间可以看作是工期,从而评估飞机的绩效。然而,如果预先知道由于预期的拥塞使得飞机不能按照计划到达时间在下一个机场着陆,那么飞机就不起飞(这种策略可以节约燃料)。如果飞机不允许起飞,运行策略通常是让乘客呆在候机室而不是在飞机上。如果登机延迟,飞机可以在登机口停留一段时间以防其他飞机占用该登机口。

调度者必须以这种方式把飞机分配给登机口,使得分配在物理上是可行的并且优化多个目标。调度者必须把飞机分配给合适的登机口,使得在它们各自的到达时间,登机口是可用的。目标包括最小化航班人员的工作和最小化飞机的延迟。

在这种情形下,登机口是资源,而对飞机的操纵和服务是任务。飞机到达登机口表示任务的开始时间,而出发表示完成时间。

例 1.1.3(中央处理单元(CPU)的调度任务)

多任务计算机操作系统功能之一是确定 CPU 用于处理不同程序的时间。通常事先并不知道准确的处理时间。然而,这些随机处理时间的分布是可以事先知道的,包括它们的期望值和方差。另外,每个任务通常有某个优先级(操作系统通常允许操作者和用户确定每项任务的优先水平或权重)。在这种情况下,目标是 minimized 所有任务的加权完成时间的期望之和。

为了避免下面的情况,即时间相对短的任务为了等候更高优先级的时间长的任务而在系统中停留很长一段时间,操作系统将任务划分为小碎片。然后,操作系统让这些任务碎片在 CPU 中循环,使得在任何给定时间区间内,CPU 都会在每项任务上花一定量的处理时间。如果正好一项任务的处理时间非常短,那么这种方式能够使它相对较快地离开系统。

任务处理的中断通常被称为中断。显然,这种环境下的最优策略会造成大量的中断。

或许还不能立即清楚调度会给既定的目标造成什么影响。花费时间和精力去寻找一种好的调度方法而不是随机选择一种有意义吗?一般的,调度方法的选择确实会对系统绩效造成较大的影响。

从技术和应用的角度来看,调度可能是很困难的。在技术方面遇到的困难类型与其他形式的组合优化和随机建模方面遇到的相似。在应用方面遇到的困难则是完全不同的

类型。它们可能取决于用来分析实际调度问题模型的精确度和所需输入数据的可靠性。

1.2 调度在企业中的作用

生产系统或服务组织中的调度活动必然与其他活动产生交互。这些交互依赖于系统,并且从一种情况到另一种情况可能有本质的不同。它们常常发生在企业范围的信息系统内。

现代化的工厂或服务组织都有相当完善的信息系统,包含一台中央计算机和数据库。个人计算机、工作站和数据终端所组成的局域网连接到这台中央计算机,要么用来从数据库检索数据,要么添加新的数据。控制这种信息系统的软件一般称为企业资源规划(enterprise resource planning, ERP)系统。许多软件公司专门开发这类系统,包括 SAP, J. D. Edwards 和 PeopleSoft。这种 ERP 系统扮演着信息高速公路的角色,它在所有组织水平上实现企业和决策支持系统的横向连接。

调度常常是通过与个人计算机和工作站上的决策支持系统交互完成的,这些个人计算机和工作站连接到 ERP 系统上。在关键位置连接到 ERP 系统的终端可以让整个企业部门查询所有当前的调度信息。随后,这些部门可以把更新的包含工作和机器状态的信息提供给调度系统。

当然,也有许多其他的环境,在这些环境中,调度活动和其他决策实体之间的交流发生在会议上或备忘录中。

1. 制造业中的调度

考虑以下一般的制造环境和其中调度所扮演的角色。制造部门提交的订单必须细化成带有工期的工作。这些工作常常需要在一个加工中心的机器上以特定的次序或顺序进行。如果某些机器繁忙,工作可能会延迟;如果高优先级的工作到达忙的机器,就会发生中断。车间里的突发事件,如机器损坏或加工时间比预期的长,都必须加以考虑,因为它们可能对调度产生重大影响。这里,对要完成的任务开发一个详细的调度计划对于维持效率和控制操作是很有帮助的。

车间并不是组织里唯一能影响调度过程的部分。它同样受到处理整个企业中长期规划的生产计划过程的影响。这个过程试图在库存水平、需求预测和资源需求的基础上,优化公司所有产品组合和长期资源分配。在这个更高计划层面上的决策将直接影响调度过程。图 1.1 是制造系统中的信息流图。

在制造业中,调度活动必须与工厂里的其他决策活动进行交互。一个广泛使用的、受欢迎的系统是物料需求计划(material requirements planning, MRP)系统。一个调度计划生成之后,必须使原材料和资源在特定的时间内可用。所有工作的准备天数必须由生产

计划、调度系统和 MRP 系统联合确定。

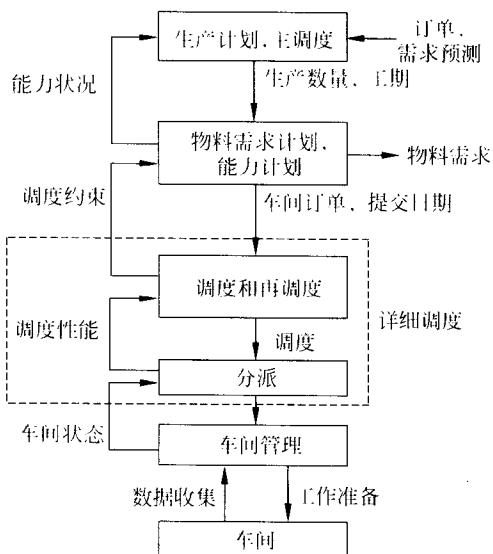


图 1.1 制造系统中的信息流图

MRP 系统通常相当细致。每项工作都有一个物料清单(bill of materials, BOM), 列举了生产所需要的零部件。MRP 系统持续跟踪每个零部件的库存。更进一步, 它确定采购每一种材料的时间。这样做时, 它采用诸如批量和批调度的技术, 这和调度系统中所用的相似。现在有很多 MRP 商业软件包。结果是, 有很多带有 MRP 系统的制造设施。在这些设施没有调度系统的情况下, MRP 系统将用于做生产计划。然而, 在复杂环境中, 用 MRP 系统做出令人满意的详细调度计划是不容易的。

2. 服务业中的调度

要描述一个一般化的服务组织和典型的调度系统并不容易。服务组织中的调度活动会面临各种各样的问题。它也许不得不处理资源的预约(如将飞机分配到登机口, 见例 1.1.2)或会议室以及其他设施的预约。有时候所使用的模型和在制造业中使用的有些不同。服务环境中的调度必须在完备的信息系统中与其他决策活动相协调, 这和在制造环境中的调度非常相似。这种信息系统常

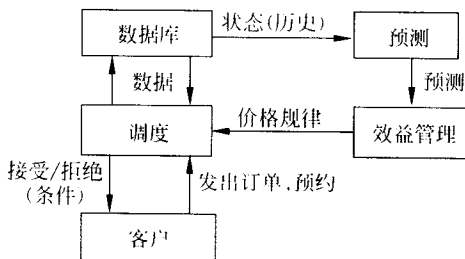


图 1.2 服务系统中的信息流图

常依赖于数据库,它含有可利用的资源和(潜在)顾客的相关信息。调度系统通常与预测和效益管理模块进行交互。图 1.2 描述了服务组织中的信息流,如小汽车租赁代理处。和制造业对比,在服务环境中通常没有 MRP 系统。

1.3 本书大纲

本书关注调度的理论和应用两个方面。理论方面涉及详细的工作排序和调度。给定某个机器环境中待处理的工作集,问题是在一些既定的约束条件下对工作进行排序,从而优化一个或多个绩效指标。调度者必须处理各种不同形式的不确定性问题,如随机工作加工时间、机器受损、紧急订单等。

过去已经研究分析了大量调度问题和模型。显然,本书仅仅考虑了其中有限的若干个;讨论的问题和模型是基于它们所能提供的内涵本质,研究它们所需要的方法和它们在实际应用中的重要性而选择的。

尽管本书中模型的应用主要来自制造和生产领域,从 1.1 节中的实例可以清楚地看到,在许多情况下都可以用到调度技术。本书涉及的模型和观念对其他领域同样适用。

本书分为 3 部分。第 I 部分(第 2~8 章)涉及确定性模型。在这几章中,假设需要调度有限数量的工作来最小化一个或多个目标。重点放在较简单的优先级和分派规则的分析上。第 2 章讨论了描述调度模型的符号,并且给出后面各章介绍的模型概貌;第 3~8 章考虑各种机器环境中的调度问题,其中,第 3 章和第 4 章介绍单个机器,第 5 章介绍并行机器,第 6 章介绍串行机器,第 7 章则是介绍更复杂的车间模型,第 8 章集中于开放车间,即在车间里对加工路线没有任何限制。

第 II 部分(第 9~13 章)涉及随机模型。这几章在多数情况下也假设需要调度给定(有限)数量的工作。工作的数据,如加工时间、提交日期和工期可能不是预先准确知道的,事先只知道它们的分布。实际的加工时间、提交日期和工期只有在加工完成后或提交日期和工期实际发生后才知道。在这些模型中,需要最小化的唯一目标通常是期望值。重点再一次放在对相对简单的优先级和分派规则的分析上。第 9 章介绍预备知识;第 10 章讨论单机环境;第 11 章也讨论单机环境,但这章假设工作在不同的时间点提交,介绍了随机调度和优先队列理论的关系;第 12 章集中于并行机器;第 13 章描述更复杂的流水车间、工作车间和开放车间模型。

第 III 部分(第 14~20 章)涉及应用问题,对多种真实世界的调度问题进行了算法描述。讨论了调度系统的设计问题并给出了一些调度系统的实例。第 14 章和第 15 章描述了一些通用目的的实现程序,它们在工业调度系统中被证明是有用的;第 16 章描述了大量实际调度问题以及在实际中是怎样解决的;第 17 章集中于有关调度系统设计、开发和应用的基本问题;第 18 章则讨论在调度系统的设计和实施中更高级的概念;第 19 章讨论