

全国高等院校物流工程专业博士生规划教材 ::::

Unisonous Scheduling
on Logistics

物流 调度与协调

靳志宏 ◎ 著

中国物资出版社

中国高等学校物流专业核心课程教材系列教材 (第三套)

Logistics Coordination
and Synchronization

物流

调度与协调

第三版

中国物资出版社

全国高等院校物流工程专业博士生规划教材

物流调度与协调

Unisonous Scheduling on Logistics

靳志宏 著

中国物资出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

物流调度与协调/靳志宏著. —北京: 中国物资出版社, 2008. 12

(全国高等院校物流工程专业博士生规划教材)

ISBN 978 - 7 - 5047 - 2990 - 3

I. 物… II. 靳… III. 物流—物资调度 IV. F253. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 190270 号

策划编辑 王宏琴

责任编辑 王宏琴

责任印制 何崇杭

责任校对 孙会香

中国物资出版社出版发行

网址: <http://www.clph.cn>

社址: 北京市西城区月坛北街 25 号

电话: (010) 68589540 邮政编码: 100834

全国新华书店经销

中国农业出版社印刷厂印刷

开本: 710mm × 1000mm 1/16 印张: 19.5 字数: 350 千字

2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 次印刷

书号: ISBN 978 - 7 - 5047 - 2990 - 3/F · 1163

印数: 0001—3000 册

定价: 35.00 元

(图书出现印装质量问题, 本社负责调换)

前言

所谓调度就是将稀缺资源分配给在一定时间内的不同任务；物流调度就是在稀缺资源分配过程中涉及的物流的调配。

物流调度既是一个决策的过程，又是一个优化的过程。物流调度优化是组合优化问题，属于典型的 NP 难题。因此，对于现实规模的物流调度优化问题，求解其全局最优解是非常困难的，甚至常常是不可能的，只能求得其局部最优解。本书就是围绕优化过程的两个核心环节——现实问题的数学建模与实用算法开发来展开的。上篇介绍有关调度问题建模、计算复杂性以及实用优化技术等调度理论基础；中篇以制造领域中最复杂的电子制造的物流调度为例阐述生产物流的调度技术与方法；下篇以服务领域最具代表性的集装箱运输的物流调度为例阐述港航物流的调度技术与方法。

本书是在大连海事大学物流工程与管理（学科代码：082322）、交通运输规划与管理（学科代码：082303）、管理科学与工程（学科代码：1201）三学科博士研究生讲义的基础上，经过多年教学实践，汇集了作者近年来相关科研成果。其核心特色归结为以下两点：

1. 实用性

物流调度涉及复杂的数学规划中的最优化理论、计算机技术中的计算复杂性理论等多学科交叉的内容，本书力图将这些复杂的理论与工科研究生已经具备的计算机知识进行衔接，并适当提高其理论基础的起点，更重要的是在此基础上，培养学员解决现实物流调度问题的能力。

2. 集成性

调度优化涵盖最优化理论、优化算法、数据结构、计算机语言等多学科的内容，利用优化技术求解现实调度问题涉及数学建模、约束处理、算法设计以及程序设计等众多环节，本书对上述多学科、多环节的内容进行了有机集成，形成一个完整的内容体系。同时，对现实中的物流调度优化问题也进行了集成，既包含了典型的制造领域生产物流的调度，又包括了有代表性的服务领域港航物流的调度。

本书可作为物流工程与管理（学科代码：082322）、交通运输规划与管理（学科代码：082303）、管理科学与工程（学科代码：1201）、工商管理（学科代码：1202）等相关学科的博士研究生教材，也可作为 MBA 以及相关学科的硕士研究生的参考教材，还可供对物流调度感兴趣的人士研读。

本书在编写的过程中参阅了大量中外文资料，主要参考书目已经列在书后。在此谨向这些国内外作者表示由衷的感谢。本书的出版也受益于作者主持的国家自然科学基金项目（70572086：电子产品组装系统优化调度的模型与方法研究；70572104：集装箱多式联运系统协调调度问题研究）、教育部高等学校博士学科点科研专项基金项目（20070151002：集装箱空箱调运建模与决策支持系统开发）、辽宁省自然科学基金项目（20052140：电子制造杂和流水线生产调度智能化研究）以及辽宁省“物流航运管理系统工程”重点实验室建设项目的部分资助。在从事上述科研项目以及本书的撰写过程中，计明军博士、曾庆成博士、博士与硕士研究生李娜、孙晓娜、李奎、荆少英、田娜、郭姝娟、胡洁、解玉真、徐奇、郭贝贝、陈贞等都做出了自己的贡献。本书也是作者二十余年学习与研究心得的集成，其中也凝聚着妻子王玉华主任医师、长子靳鑫、次子靳喆的一如既往的理解与支持，一并致谢！

受作者水平与能力所限，书中定有不当之处，欢迎读者斧正。请将意见与建议反馈至作者（<http://logistics.dlmu.edu.cn/>）。

靳志宏

2008 年 8 月于大连

本书由

国家自然科学基金项目

70572086: 电子产品组装系统优化调度的模型与方法研究

70572104: 集装箱多式联运系统协调调度问题研究

教育部博士学科点专项科研基金项目

20070151002: 集装箱空箱调运建模与决策支持系统开发

教育部留学回国人员科研启动基金项目

20040527: 集装箱多式联运系统优化与动态跟踪

辽宁省自然科学基金项目

20052140: 电子制造杂和流水线生产调度智能化研究

20082141: 环渤海湾集装箱运输网络数字刻画与多维数据库构建研究

辽宁省重点实验室建设项目

2008S028: 基于动态规划的集装箱空箱调运优化, 以及物流航运业务流程管理优化与决策

资助出版

The published book is financed by

National Natural Science Foundation of China,

Grant No. 70572086 & 70572104;

Specialized Research Foundation for the Doctoral Program of Higher Education, Grant No. 20070151002;

Scientific Research Foundation for the Returned Overseas Chinese Scholars, Grant No. 20040527

Natural Science Foundation of Liaoning Province, Grant No. 20052140 & 20082141;

Liaoning Province Leading Laboratory Program of "Logistics & Shipping Management Systems Engineering", Grant No. 2008S028.

目 录

上篇 物流调度与协调基础

1 调度与物流调度	(3)
1.1 调度	(3)
1.2 物流调度	(4)
1.3 调度协调	(4)
2 调度问题建模分析	(6)
2.1 制造业的调度问题建模分析	(6)
2.2 服务业的调度问题建模分析	(15)
3 调度问题的计算复杂性	(20)
3.1 组合优化与组合爆炸	(20)
3.2 算法与计算量	(22)
3.3 计算量与计算复杂性	(24)
3.4 计算复杂性与优化问题解法	(27)
3.5 调度问题计算复杂性与优化解法	(29)
4 调度问题的实用优化技术	(30)
4.1 优化技术的核心环节	(30)
4.2 优化算法设计	(36)
4.3 优化算法评价	(39)
4.4 调度问题的优化算法	(43)
5 现实中的物流调度与协调问题	(45)
5.1 现实中调度问题的复杂性	(45)

5.2	典型的制造领域生产物流调度与协调问题	(46)
5.3	典型的服务领域港航物流调度与协调问题	(49)

中篇 制造领域生产物流的调度与协调

6	印刷电路板插装机的调度与协调	(55)
6.1	引言	(55)
6.2	机型及问题描述	(56)
6.3	插装优化建模与算法开发	(59)
6.4	实证分析	(62)
6.5	结论与展望	(64)
7	印刷电路板表面贴装机的调度与协调	(66)
7.1	引言	(66)
7.2	表面贴装机与贴装过程	(66)
7.3	表面贴装调度建模	(68)
7.4	表面贴装调度的混合算法	(72)
7.5	应用例	(75)
7.6	问题与分析	(78)
7.7	多品种、小批量下的表面贴装调度与协调	(78)
8	印刷电路板大型并行系统的调度与协调	(84)
8.1	大型并行系统描述	(84)
8.2	大型并行系统表面贴装调度建模	(86)
8.3	大型并行系统表面贴装调度算法设计与集成	(88)
8.4	数值测试实验	(91)
8.5	结论与问题分析	(93)
9	表面贴装生产线贴装机负荷均衡优化	(95)
9.1	引言	(95)
9.2	表面贴装生产线主体设备及贴片工艺	(96)

9.3	贴装机负荷均衡问题建模	(98)
9.4	贴装机负荷均衡优化算法开发	(101)
9.5	数值实验	(103)
9.6	结论与展望	(105)
10	印刷电路板 3 阶段混合流水线的调度优化	(106)
10.1	引言	(106)
10.2	混合流水线调度问题建模	(107)
10.3	三个基础子问题	(109)
10.4	集成算法	(110)
10.5	数值实验	(115)
10.6	结论与展望	(123)
11	电子制造多阶段混合流水线的调度优化	(124)
11.1	引言	(124)
11.2	多阶段混合流水线调度问题的下界值	(125)
11.3	多阶段混合流水线调度问题的启发式算法	(130)
11.4	数值实验与算法评价	(131)
11.5	结论与展望	(139)

下篇 服务领域港航物流的调度与协调

12	集装箱装箱优化	(143)
12.1	装箱问题描述	(143)
12.2	装箱问题建模	(144)
12.3	装箱问题优化算法基础的子空间算法	(147)
12.4	子空间与 SA 的混合算法	(149)
12.5	子空间与 GA 的混合算法	(152)
12.6	算法评价	(157)
12.7	结论与展望	(163)

13 集装箱拼箱集运优化	(164)
13.1 拼箱集运优化问题	(164)
13.2 实用启发性算法	(166)
13.3 关于下界值	(168)
13.4 算法评价	(168)
13.5 结论与展望	(170)
14 集装箱装拆箱与运输的协调调度	(172)
14.1 集装箱装拆箱与运输协调调度问题	(172)
14.2 装拆箱顺序与配载模式	(172)
14.3 集装箱装拆箱与运输的协调调度启发式算法	(174)
14.4 数值实验与结果分析	(175)
14.5 结论	(177)
15 集装箱干线与支线运输的船舶协调调度	(178)
15.1 hub-spoke 海上运输模式	(178)
15.2 基于 hub-spoke 模式的支线运输船舶调度建模	(179)
15.3 粒子群算法开发	(182)
15.4 实证研究	(184)
15.5 结论与展望	(186)
16 集装箱支线运输航线与航次协调调度	(187)
16.1 集装箱支线运输的发展趋势及调度特点	(187)
16.2 航线与航次协调调度问题建模分析	(189)
16.3 航线与航次协调调度问题求解	(191)
16.4 航线与航次协调调度实证研究	(195)
16.5 结论与展望	(199)
17 集装箱主码头与浮动码头间的协调调度	(200)
17.1 主码头与浮动码头间协调调度问题描述	(200)
17.2 主码头与浮动码头间靠泊协调优化模型	(202)
17.3 靠泊协调优化模型求解	(204)

17.4	靠泊协调仿真实验	(206)
17.5	靠泊协调调度结论与展望	(209)
17.6	浮动码头调度问题描述	(209)
17.7	浮动码头调度问题建模	(210)
17.8	浮动码头调度模型求解	(214)
17.9	浮动码头调度实证研究	(216)
17.10	浮动码头调度结论与展望	(220)
18	集装箱码头泊位与岸桥协调调度	(221)
18.1	泊位与岸桥协调调度问题描述	(221)
18.2	泊位与岸桥协调调度优化模型	(222)
18.3	泊位与岸桥协调调度优化算法	(225)
18.4	仿真实验与结果分析	(229)
18.5	结论与展望	(232)
19	集装箱码头岸桥与集卡协调调度	(233)
19.1	研究背景与问题描述	(233)
19.2	基于时间最短的集卡线路优化模型	(234)
19.3	改进的进化规划算法	(236)
19.4	数值模拟实验	(237)
19.5	结论与展望	(240)
20	集装箱码头集卡装船与卸船协调调度	(242)
20.1	装船与卸船协调调度问题描述	(242)
20.2	装船与卸船协调调度问题建模	(243)
20.3	装船与卸船协调调度问题算法开发	(245)
20.4	装船与卸船协调调度问题仿真分析	(247)
20.5	结论与展望	(249)
21	集装箱重箱与空箱的协调调度	(250)
21.1	集装箱空箱调运问题概述	(250)
21.2	集装箱空箱周转流程分析	(252)

21.3	集装箱空箱调运问题建模	(255)
21.4	集装箱空箱调运问题优化算法开发	(256)
21.5	集装箱空箱调运仿真实验	(257)
21.6	仿真结果分析	(259)
21.7	结论与展望	(262)
22	多式联运下的集装箱运输方式组合优化	(264)
22.1	集装箱运输方式组合优化问题	(264)
22.2	基于动态规划的运输方式组合优化模型	(265)
22.3	基于 Matlab 的算法与程序设计	(267)
22.4	实证研究	(269)
22.5	结论与展望	(272)
23	多式联运下的集装箱运输分级优化	(273)
23.1	多式联运下的集装箱运输分级优化问题	(273)
23.2	多式联运计划的分级优化概念模型	(274)
23.3	多式联运计划分级优化建模	(276)
23.4	多式联运计划分级优化算法设计	(279)
23.5	仿真实验分析	(281)
23.6	结论与展望	(287)
参考文献		(288)

上

篇



物流调度与协调基础

1 调度与物流调度

1.1 调度

所谓调度就是将组织中的稀缺资源分配给需要在一定时间内完成的不同任务。其中,组织可以是作为制造业基本单位的生产单元(车间),也可以是作为服务业基本单位的班(组);资源可以是制造业生产车间里的机器设备,也可以是服务业的服务窗口;任务即是订单,可以是生产过程中的作业,也可以是需要的服务活动。

为将制造业与服务业统一起来,将服务业的窗口也称为机器,服务需求也称为工件,服务环节也称为工序,服务过程也称为加工。因此,调度的基本要素为机器(Machine)、工件(Job)与工序(Operation)。同时,不论是制造业还是服务业的调度均须满足以下基本前提:每台机器同时只能加工一个工件;每道工序只在一台机器上完成;每个工件不能同时在多台机器上加工;加工时间与加工顺序无关;工件数、机器数、加工时间已知等。

在上述调度的基本前提下,可以将制造业及服务业的调度问题统一进行分类。其基本符号设定如下:

p_i : 工件 i 的加工时间;

d_i : 工件 i 的交货期;

r_i : 工件 i 可以开始加工的时间;

W_i : 工件 i 的等待时间;

E_i : 工件 i 的提前完工时间;

C_i : 工件 i 的加工完成时间, $C_i = r_i + W_i + p_i$;

F_i : 工件 i 的流程时间(工序内的滞在时间), $F_i = C_i - r_i = W_i + p_i$;

L_i : 工件 i 的延迟时间, $L_i = C_i - d_i$;

T_i : 工件 i 的延误时间, $T_i = \max\{L_i, 0\}$;

$C_{\max}$: 最大完工期限, $C_{\max} = \max\{C_i\}$;

$F_{\max}$: 最长流程时间, $F_{\max} = \max\{F_i\}$;

$\bar{F}$: 平均流程时间, $\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i$;

$T_{\max}$: 最长延误时间, $T_{\max} = \max\{T_i\}$;

WIP : 在制品库存, $WIP = (F_1 + F_2 + \cdots + F_n) / C_{\max}$ 。

基于上述基本符号, 调度问题可以表示为: $n/m/A/B$ 。其中 n 表示需加工的工件数; m 表示可用加工机器数量; A 表示机器的布置形式, 如 F (Flow Shop) 表示产品专业化布置, J (Job Shop) 表示工艺专业化布置; B 表示调度的目标函数。如 $n/3/F/C_{\max}$ 表示工件数为 n 的由 3 台机器通过产品专业化布置所组成的流水车间的排序问题, 其调度目标函数为最小化最大的完工期限。

1.2 物流调度

物流调度就是在稀缺资源分配过程中所涉及的物流的调配。具体就是调配为生产某种产品或提供某类服务时所需的原材料、设备、设施等, 其目标是在满足客户订单需求的约束条件下最大化设备的能力利用率和人员劳动生产率, 最小化延迟和闲置时间以及原材料、在制品以及产成品的库存。主要内容包括作业指派、作业排程、作业协调三大部分。

作业指派是物流调度的第一项职能。它是指将作业 (Job) 分配给车间 (Shop), 即把订单、设备、原材料、人员分配到车间 (工作中心), 使得作业在最有效的资源上执行, 最终形成指派方案。作业指派又称为载荷或配载等。作业指派属于指派问题 (Assignment Problem) 的一个特定应用领域。因此, 所有指派问题的解决方法都可以在作业指派中得以应用, 本书不予赘述。

作业排程是指排定作业加工顺序及确定作业的开始和结束时间。其基本程序是首先建立优先级, 分配具有优先权的工件到某一资源上, 优先考虑加工; 其次对同一优先级的工件采用各种排序规则进行排序; 最后确定每一工件的开始与结束时间。在上述三大步骤中, 作业排序是最核心的操作, 本书将在第 2 章对其建模及计算复杂性进行分析, 在第 3 章对其优化求解进行描述。

作业协调包括静态协调与动态协调。静态协调是指生产或服务系统的调度活动与其他相关子系统之间物流的平衡。动态协调是指通过监控系统内部的进度执行情况, 动态调整作业指派与作业排程。

1.3 调度协调

调度协调的理论基础是约束理论 (Theory of Constraints, TOC)。TOC 是一