



偏好泊位约束下的集装箱港口 离散泊位分配问题*

郑子龙¹, 杨斌¹, 胡志华^{1,2}

(1上海海事大学物流研究中心, 上海 201306; 2. 同济大学经济与管理学院, 上海 200092)

摘要: 在集装箱码头中, 泊位调度系统是影响码头作业调度的重要环节, 而泊位分配问题又是其首要问题。为了揭示泊位偏好对泊位分配问题的影响, 重点从集装箱码头泊位分配问题和基于船舶泊位偏好问题两方面展开研究, 为对泊位分配和泊位偏好进行协同优化配置, 建立泊位偏好约束下的多目标混合整数数学模型。并且采用CPLEX进行求解。通过算例说明模型的有效性, 并通过实验分析船舶对泊位的偏好的影响。结果对港口具有的实际应用价值, 拓展了对离散型靠泊计划的研究。

关键词: 集装箱码头; 离散型泊位分配问题; 偏好泊位; 混合整数规划

中图分类号: U 692.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2013)12-0064-05

Container port discrete berth allocation under restriction of preference berth

ZHENG Zi-Long¹, YANG Bin¹, HU Zhi-Hua^{1,2}

(1. Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;

2. School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: For the container terminal, the berth scheduling is an important task that affects the terminal operations, and the berth allocation is the primary matter. In order to reveal the degree of influence of berth preference to the results of berth allocation, two aspects including the berth allocation and the influence of preference are studied. In order to optimize both the berth allocation and maximize the preference of berth, a multi-objective mixed integer linear mathematical model under the constraints of the preference for berth is presented. CPLEX is used to solve the model. The efficiency of the model is demonstrated by the experiments, and the effects of berth preference are analyzed. The results are beneficial for the operations of container terminals, and new features are introduced for discrete the berth allocation problem.

Key words: container terminal; discrete berth allocation problem; preference berths; mixed integer linear programming

泊位分配问题 (Berth allocation problem, BAP) 是一个重要的港口运作优化问题, 具有实际的应用价值^[1]。在许多集装箱码头, 管理人员试图通过对人力、泊位、堆场、吊桥等资源的有效

分配与优化降低成本。其中, 泊位是最重要的资源。泊位是集装箱码头资源中随码头建造之后就难以扩充的关键资源, 由于岸桥装卸与堆场运输的协调处理才能完成对船舶的装卸任务, 船舶停

收稿日期: 2013-03-20

*基金项目: 国家自然科学基金项目 (71171129), 上海市科委科研项目 (No. 111510501900, 12dz1124802), 上海市教委科研项目 (11YZ137) 上海海事大学研究生创新基金资助项目 (GK2013025)

作者简介: 郑子龙 (1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为港行与物流运作优化、绿色物流、汽车物流。

靠泊位与堆场相应箱位之间的距离影响船舶装卸作业代价, 从而每个船舶都有自己的偏好停泊泊位。如何处理好有限泊位资源与船舶对偏好停泊泊位的矛盾, 是码头作业计划中的一个重要问题。

根据对泊位空间的划分, 泊位分配问题可以划分为离散型泊位分配问题和连续型泊位分配问题^[2]。离散型泊位分配问题是指将连续的岸线划分为若干个独立的逻辑泊位, 并假设在同一时刻同一泊位只能服务于一艘船舶, 而且任何船舶的停靠位置都不能同时跨越两个泊位^[3-4]。连续型泊位分配问题将泊位看成是连续而非离散的, 即将整个码头岸线看作是连续的水边线, 只要到港船舶有满足港口的物理条件限制的, 就可以进行停泊。根据泊位分配时间与船舶到达时间的关系, 泊位调度问题又可以分为动态的和静态的^[5-6]。动态的是指在制定泊位调度方案时仍有船舶未到港, 随后陆续到港, 而静态则是指在制定调度方案时, 所有需要安排进港作业的船舶都已经到港等候靠泊^[7]。

BAP模型的目标函数一般是港口服务时间或者总成本的最小化。如Imai研究的离散型静态的泊位分配问题, 采用了拉格朗日松弛定理进行求解^[8]。为解决服务优先问题, Imai提出连续的BAP, 并考虑到服务的优先级^[9], Imai建立了以最小化船舶在港时间为目标的优化模型, 提出泊位分配问题的遗传算法求解过程^[10]。Lim把泊位分配问题看作是二维装箱问题 (packing problem), 研究了连续型泊位分配问题^[11]。Chen提出一种贪婪随机适应搜索方法, 该方法的目标是在时间-空间图上迅速找到船舶能够靠泊的位置^[12]。泊位分配和岸桥分配集成优化的问题逐渐受到重视。例如Imai采用遗传算法对泊位和岸桥的分配进行了研究和求解^[13]。Monaco通过考虑船舶总的在港时间, 建立了一种连续泊位动态分配模型并进行求解^[14]。Kim和Moon研究了连续性泊位分配问题, 构建了MIP模型, 并用模拟退火算法和LINDO进行求解^[15]。类似的, Wang Fan等也研究了连续性泊位分配问题, 并使用随机束搜索方法进行求解^[16]。但是这些研究都没有考虑实际情况下船舶因为偏离偏好泊位带来的惩罚成本。

本文研究了偏好泊位约束下的离散泊位分配问题, 建立了一个混合整数线性规划模型, 目标函数考虑了最小化船舶挂靠等待时间和偏离偏好泊位的惩罚成本两个目标。采用案例分析, 进行了较大规模的算例验证, 有效解决了船舶的泊位分配问题。

1 问题描述

本文在离散泊位分配问题的基础上研究偏好泊位的影响, 首先是把分配问题抽象为二维装箱问题, 这个时间-泊位的二维矩形代表到港的船舶^[17-18]。如图1所示, 船舶 ($i=4$) 的开始装卸时间为 t , 结束装卸时间为 t_e 。每一条船舶都会有一个对应的偏好泊位 P_i , 但是考虑到船舶的等待靠泊时间造成的等待成本, 因此不是每一条船舶都能靠泊在偏好的位置。站在港口角度, 希望通过调配泊位、岸桥和堆场等资源, 以最少的作业时间和工作量完成对靠泊船舶的装卸, 降低港口运营成本; 站在船舶角度, 每条船舶都希望停在偏好泊位上, 以最快的速度完成装卸, 从而提高船舶周转率, 降低船公司成本。本文站在整个港口船舶运作的角度, 在船舶靠泊时通过加入偏好泊位约束的管理, 提升船舶顾客服务水平, 提高资源利用效率, 减少船舶在港等待时间, 实现港口服务水平的最优化。

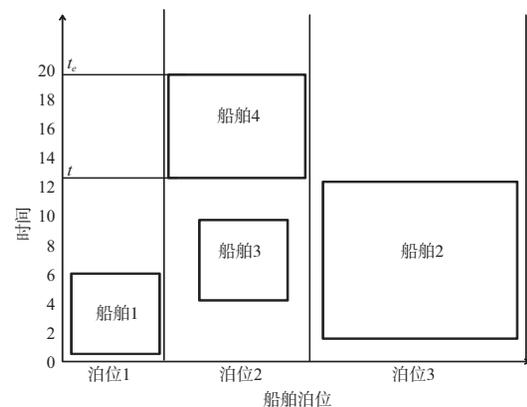


图1 船舶靠泊计划

2 模型

2.1 基本假设

1) 本模型假设船舶卸载的时间是已知的, 数据来源可以根据历史卸载数据加权平均可得, 因

此模型不考虑桥吊分配对船舶作业时间的影响;

2) 进港船舶的长度必须满足小于最大的泊位的长度;

3) 泊位水深能满足所有到港船舶的吃水要求。

由于每条船的长度、船舶到达时间和作业量都是事先已知的,因此港口可以制定出船舶的计划作业所需要的桥吊数目,即假设1是可以实现的;假设2和3是指在实际情况中,船舶只有满足这些条件时才能达到进港要求,从而才能进入靠泊计划列表,所以这种假设也是符合实际情况的。

2.2 符号

1) 集合。

SV为到港船舶的集合, $i=(1, 2, \dots, I) \in SV$;

SP为港口泊位的集合, $j=(1, 2, \dots, J) \in SP$;

SN为船舶的服务顺序, $k=(1, 2, \dots, I) \in SN$;

2) 参数。

L_j 表示泊位j的长度; B_i 为船舶i的长度; e_i 为船舶i预计到港时刻; A_i 为船舶i总的装卸时间; P_i 为船舶i的偏好泊位; U_{ij} 为船舶i在泊位j的单位距离放大系数; 另外定义一个大的正数M。

3) 决策变量。

$x_{ijk}=1$ 表示船舶i在泊位j上是第k个被服务的, 否则, $x_{ijk}=0$;

y_{ijk} 表示船舶i在泊位j上以k顺序挂靠的时间;

$w_{ij}=1$ 表示船舶i停靠在泊位j上, 否则, $w_{ijk}=0$;

v_{ij} : 为0-1变量, 若船舶i停靠在泊位j上时 $v_{ij}=1$, 否则, $v_{ijk}=0$;

Z_{ijk} : 表示若船舶i以k顺序停靠在泊位j之前的等待时间;

根据以上的定义可以建立如式(1)~(13)所示的泊位分配模型。

$$\text{Min } f = \sum_{i \in SV} (y_{ijk} - e_i x_{ijk}) + \sum_{i \in SV} \sum_{j \in SP} U_{ij} w_{ij} \quad (1)$$

s.t.

$$\sum_{j \in SP} \sum_{k \in SN} x_{ijk} = 1, \forall i \in SV \quad (2)$$

$$\sum_{k \in SN} x_{ijk} \leq 1, \forall j \in SP, k \in SN \quad (3)$$

$$M(x_{ijk} - 1) \leq y_{ijk} - e_i, \forall i \in SV, \forall j \in SP, \forall k \in SN \quad (4)$$

$$y_{ijk} \leq Mx_{ijk}, \forall i \in SV, \forall j \in SP, \forall k \in SN \quad (5)$$

$$v_{ij} = \sum_{k \in SN} x_{ijk}, \forall i \in SV, \forall j \in SP \quad (6)$$

$$y_{ijk} - e_i x_{ijk} \leq z_{ijk}, \forall i \in SV, \forall j \in SP, \forall k \in SN \quad (7)$$

$$y_{ijk} \geq 0, \forall i \in SV, \forall j \in SP, \forall k \in SN \quad (8)$$

$$r_i = \sum_{i \in SP} \sum_{k \in SN} (x_{ijk} J), \forall i \in SV \quad (9)$$

$$y_{ib,j,kb} - (y_{ia,j,ka} + a_{ia}) \geq (x_{ia,j,ka} + x_{ib,j,kb} - 2)M$$

 $\forall j \in SP, ia, ib \in SV, ia \neq ib, ka, kb \in SN, ka < kb \quad (10)$

$$\sum_{i \in SP} w_{ij} = 1, \forall i \in SV \quad (11)$$

$$w_{ij} \leq \sum_{k \in SN} x_{ijk}, \forall i \in SV, \forall j \in SP \quad (12)$$

$$Mw_{ij} \geq \sum_{k \in SN} x_{ijk}, \forall i \in SV, \forall j \in SP \quad (13)$$

目标函数式(1)表示船舶的在泊时间最短以及船舶的在泊位置最佳。约束条件式(2), (11)~(13)表示每个船只能停靠在一个泊位上。式(3)表示允许至多一艘船以相同的顺序在相同的泊位靠泊。式(4)是为了确保泊位j的船舶长度小于即将靠泊的泊位, 这样才能顺利进入泊位。式(5)考虑到了泊位的可用时间。式(6)表示当且仅当 $x_{ijk}=1$ 即船舶i以k的顺序在j泊位靠泊时, 才存在i船以k顺序在j泊位的停靠时间。式(7)是必须满足的条件, 是对船舶靠泊选择和靠泊顺序的定义式。式(8)是对挂靠时间、到达时间以及等待时间之间的关系的约束。式(9)表示挂靠时间必须大于初始时间。式(10)中假设船舶ia离开后船舶ib才开始服务的, 亦即 $y_{ib,j,kb} - (y_{ia,j,ka} + a_{ia}) \geq 0$, 满足此约束的同一泊位上先后停泊的两个船舶服务时间不重叠。

3 算例分析

假定所研究的港口有5个泊位, 泊位1的长度是130 m, 泊位2的长度是160 m, 泊位3的长度是190 m, 泊位4的长度是210 m, 泊位5的长度是250 m。假定在某时间段内来了20条船, 按照到港的顺序将这12条船分别标记为船舶1, 船舶2, ..., 船舶12。根据实际情况, 每条船都会有自己的偏好泊位。现以第1条船的到港时间为基准0, 则随机生成12条船舶的靠泊计划数据, 见表1。

为了表现出船舶偏离偏好泊位对其靠泊成本的影响, 故引入船舶对偏好泊位的偏离放大系数。数据设置参考表2。

其中W=99 999表示一个较大的正常数。

1) 综合考虑船舶存在偏好泊位的情况和考虑等待时间对船舶靠泊计划的影响两种情况的分析。

表1 船舶靠泊计划

船舶编号	B_i	E_i	A_i	P_i
1	120	1	8	1
2	180	2	5	3
3	230	4	12	5
4	140	3	15	2
5	110	3	10	1
6	200	5	15	4
7	130	10	10	2
8	170	10	11	3
9	180	7	11	3
10	180	13	12	3
11	170	12	11	3
12	160	17	11	3

表2 偏离放大系数

放大系数	泊位1	泊位2	泊位3	泊位4	泊位5
1	0	2.0	4.4	6.9	9.8
2	W	W	0	1.6	3.0
3	W	W	W	W	0
4	W	0	0.9	2.6	5.2
5	0	1.2	2.5	4.8	7.0
6	W	W	W	0	1.4
7	0.9	0	0.9	2.6	5.2
8	W	W	0	1.6	3.0
9	W	W	0	1.6	3.0
10	W	W	0	1.6	3.0
11	W	W	0	1.6	3.0
12	W	1.6	0	1.6	3.0

根据表1和2中的数据, 运用CPLEX进行编程求解, 经过求解可得偏离偏好泊位的船舶个数 $N=2$, 船舶结束作业的时刻是 $t=40$, 所有船舶总的等待时间 $t=45$, 所有船舶的惩罚成本之和是 $f_2=4.6$, 因此实际船舶存在的总成本是 $f=49.6$ 。

2) 不考虑船舶存在偏好泊位的情况, 但是考虑等待时间对船舶靠泊计划的影响的分析。

如果不考虑船舶偏好泊位时, 同样运用CPLEX进行编程求解, 可以得到船舶的实际靠泊泊位, 与船舶实际中存在偏好泊位进行比较统计, 可以得到潜在偏离偏好泊位的船舶个数 $N=6$, 这12条船舶中船舶作业结束的时刻是 $t=29$, 所有船舶总的等待时间 $f_1=29$, 所有船舶的潜在惩罚成本经过计算可得和是 $f_2=15.9$, 因此实际情况下船舶存在的总成本之和是 $f=44.9$ 。

3) 不考虑等待时间对船舶靠泊计划的影响, 但是考虑船舶存在偏好泊位的情况分析。

如果不考虑船舶的等待时间对船舶靠泊计划的影响, 同样运用CPLEX进行编程求解, 可以得到船舶都停靠在偏好泊位上, 所以潜在偏离偏好泊位的船舶个数 $N=0$, 这12条船舶中结束作业的时刻是 $t=52$, 所有船舶总的等待时间 $t=87$, 由于船舶的偏离偏好泊位的惩罚成本 $f_2=0$, 因此此条件下船舶的总成本是 $f=87$ 。

图2给出了这3种分析情况下, 船舶的等待时间、目标函数值以及作业结束时刻的对比柱状图, 图3给出了偏离偏好泊位造成的惩罚成本和偏离偏好泊位船舶个数的对比折线图。

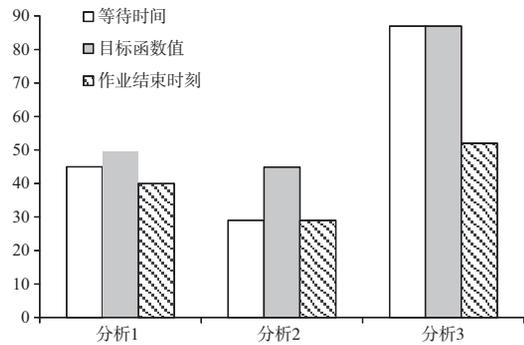


图2 等待时间、目标函数、作业结束时刻对比

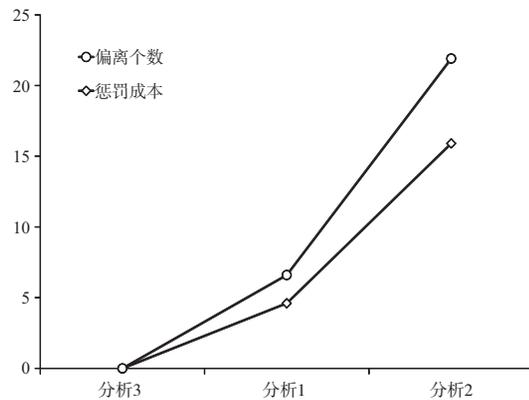


图3 惩罚成本和偏离个数对比

从图2中可以看出在分析船舶的等待时间、目标函数值和船舶总的作业结束时刻时, 若不考虑船舶偏好泊位, 船舶的等待时间、目标函数值和船舶总的作业结束时刻最小, 而不考虑等待时间最小化这一约束时船舶的等待时间、目标函数值和船舶总的作业结束时刻都是最大的, 说明船舶的等待时间对港口操作的影响大于偏好位置对其

的影响。这是符合实际情况的,因为在实际的集装箱卸载过程中,港口往往是由于船舶数量过多造成船舶长时间的等待,而集装箱在堆场内的搬运过程的影响往往很小。

从图3可以看出船舶的偏离个数和由偏离偏好造成的惩罚成本,在只考虑偏好泊位对其在港成本影响的情况时值最小,在不考虑惩罚成本时值最大,这也符合实际的情况。

结合图2和图3综合考虑,在港口的实际泊位分配过程中,港口既不会完全按照分析3所示的船舶的要求,让船舶都停靠在偏好泊位上,造成一些泊位的卸载压力过大;也不会选择分析2所示泊位分配计划,使得过多船舶偏离偏好泊位,造成偏离惩罚成本的增大;而是选择分析1所示的泊位分配计划,综合考虑船舶的等待时间和偏离惩罚成本,使得在最优化船舶等待时间的基础上,同时最小化船舶的偏离惩罚成本。因此决策者为某段时间制定一个考核目标,如果仅仅根据一方面的因素来制定,势必导致港口调配计划和船舶利益均衡的博弈过程破裂,而应该综合权衡各方面因素,虽然不能使得港口或者船舶的每一方利益都达到最小,但是在整个港口调度计划中,却使得综合目标达到最优值。

在上文的算例中,规模仅为12条船,但是船舶在任何一个泊位的偏离系数都已经举例列出,因此能够适应规模无限大的算例,满足实际应用的需要。

4 结论

本文建立以最小化船舶在港等待时间及偏离偏好泊位对船舶的惩罚成本所构成的目标函数的数学模型,分析偏好泊位在港口运营中的影响,通过优化船舶的等待时间,使得船舶不会因此都选择偏好泊位靠泊,通过添加船舶的惩罚成本,使得船舶会选择偏好泊位附近的泊位靠泊。这样的结果使得,一方面如果当过多船舶集中偏好一个泊位时,通过等待时间惩罚使得船舶靠泊于其他泊位,减小本泊位的卸载压力;另一方面,如果船舶偏离计划卸载的集装箱堆场时,通过惩罚

系数的设置,使得船舶不会过分偏离偏好泊位,提高了港口的工作效率。但是本文并没有考虑到泊位-岸桥的联合协作,以及干扰事件对泊位分配的影响,接下来的深入研究应该考虑偏好泊位在泊位-岸桥联合协作中的广度思考,并加入干扰时间在靠泊前的影响,应该会对泊位分配的研究有着更加深入的贡献。

参考文献:

- [1] Nishimura Imai, Papadimitriou. Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 131(2): 282-292.
- [2] 乐美龙,刘菲. 基于Memetic算法的泊位和岸桥分配问题[J]. *武汉理工大学学报*, 2011, 33(11): 66-71.
- [3] Guan Y, Chenung R. The berth allocation problem: Models and solution methods[J]. *OR Spectrum*, 2004, 26(1): 75-92.
- [4] Buhkral K, Zugian S, Ropke S, et al. Models for the discrete berth allocation problem: A computational comparison[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2011, 47(4): 461-473.
- [5] Barros V H, Costa T S, Oliveira A, et al. Model and heuristic for berth allocation in tidal bulk ports with stock level constraints[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2011, 60(5): 606-613.
- [6] 张红菊,乐美龙. 基于多目标粒子群算法的泊位-岸桥分配研究[J]. *武汉理工大学学报*, 2012, 34(2): 59-64.
- [7] Bierwirth C, Meisel F. A survey of berth allocation quay crane scheduling problems in container terminals [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 202(3): 615-627.
- [8] Imai A, Chan. Efficient planning of berth allocation for container terminals in Asia[J]. *Journal of Advanced Transportation*, 1997, 31(1): 75-94.
- [9] Imai A, Nishimura E, Papadimitriou S. Berth allocation with service priority[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2003, 37(5): 437-457.
- [10] Imai A, Sun Xin, Nishimura E, et al. Berth allocation in a container port: Using a continuous location space approach[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2005, 39 (3): 199-221.

(下转第79页)