

基于单亲遗传算法的全岸线岸桥动态调度研究

张颖^{1,2,3}, 胡燕海^{4*}

(1. 宁波大学 海运学院, 浙江 宁波 315211;

2. 国家道路交通安全工程技术研究中心 宁波大学分中心, 浙江 宁波 315211;

3. 现代城市交通技术江苏高校协同创新中心, 浙江 宁波 315211;

4. 宁波大学 机械工程与力学学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 本文主要研究集装箱码头船舶全岸线动态岸桥分配的调度问题, 提出滚动式泊位分配的优化方式, 建立基于滚动式泊位的分配调度模型, 设计基于矩阵编码的单亲遗传法, 对集装箱码头全岸线动态岸桥装卸任务进行求解. 实例分析表明: 相比传统的静态岸桥调度方法, 基于滚动式泊位分配的全岸线岸桥动态调度方法有利于提高集装箱码头运行效率, 缩短船舶停靠时间.

关键词: 集装箱码头; 滚动式泊位; 全岸线岸桥调度; 单亲遗传算法

中图分类号: U169.63

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2018) 02-0089-05

集装箱运输作为一种高效率和高效益的运输方式, 已遍及世界上所有的海运国家, 世界海运货物的集装箱化已成为不可阻挡的发展趋势. 在以往的研究成果上, 赵坤强等^[1]对泊位、岸桥调度等展开研究, 先后建立了有关泊位与岸桥分配的混合整数规划模型, 并分别为到达的船舶分派泊位和岸桥以及具体岸桥的数量. 靳志宏等^[2]研究了多船动态到港的岸桥调度问题, 建立了以最小化所有船舶的在港作业时间为目标的非线性数学规划模型. 杨春霞等^[3]建立了一种优化模型, 目标是最小化船舶在港时间和码头生产成本, 并提出一种多目标遗传算法. 董良才等^[4]建立了全岸线岸桥调度和分配混合整数动态式规划模型, 据此提出基于段编码技术的遗传算法求其最优解. Tavakkoli-Moghaddam 等^[5]提出了多船到港情况下的岸桥分配以及调度问题, 每到港一艘船或每离港一艘船即启动一次调度计划. 白治江等^[6]基于船舶优先权、理想泊位和处理时间的三个维度的约束, 提出了泊位分配与岸桥配置的集成模型. 秦进等^[7]以岸桥使用费与船舶停靠费最低为优化目标, 建立了

面向多船的集装箱岸桥的统一调度优化模型, 求解的结果未取得最佳方案.

以往学者们对于全岸线岸桥协同调度的研究方式基本上是先给每个船舶配备一定数目的岸桥, 再给每个岸桥分配相应的任务, 当该船舶中的集装箱装卸任务全部都完成后, 所分配岸桥才可退出. 然而这种方式并没有实现岸桥在船间的共享, 容易导致一些岸桥因被搁置而产生资源浪费等现象. 为了提高岸桥的利用率, 本文在前人研究基础上进一步探究关于全岸线岸桥动态岸桥调度的问题.

1 问题描述

传统码头岸桥的主要调度方法是: 给一艘船舶分配若干台岸桥, 这些岸桥在完成所分配船舶的所有装卸任务后才可能用于另一艘船舶. 这种调度方法的优点是直观、简便, 但也存在船舶装卸效率不高的问题. 为提高装卸效率, 本文提出了基于滚动式泊位分配的全岸线动态岸桥协同调度方法, 即展开一次岸桥协同调度计划后, 每艘离港船

收稿日期: 2017-04-22.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(51408323).

第一作者: 张颖(1992-), 女, 安徽安庆人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 集装箱运输、智慧物流. E-mail: 1005389748@qq.com

*通信作者: 胡燕海(1966-), 男, 浙江岱山人, 博士/教授, 主要研究方向: 企业信息化、集装箱运输、智慧物流. E-mail: huyanhai@nbu.edu.cn

船的滚动决策周期和泊位调度计划都需要更新,以便向前推进新一轮的泊位分配方案.在船舶靠泊之后,岸桥协同调度展开新的调度计划,即岸桥在全岸线共享,每当有船舶到港或离港,则对全岸线的岸桥进行动态调度,从而提高岸桥装卸效率.

2 数学模型

2.1 模型假设

根据实际情况,对相关问题假设如下:(1)已知船舶预计离开时间、靠泊时间和靠泊位置;(2)两相邻岸桥间安全距离为1个贝位;(3)岸桥间不可发生相互碰撞;(4)部分装卸任务间具有先后顺序,不可同时作业;(5)岸桥水平移动的平均速度为距离与对应时间的比值;(6)不考虑岸桥等待集卡的情况.

2.2 参数与决策变量

2.2.1 参数

V, Q, T 分别代表船舶、岸桥和单位时间的集合; $V_1, V_2 \dots$ 表示不同的船舶; $k_1, k_2 \dots$ 表示不同的岸桥; Ω_V 代表船 V 装卸任务集合; $n_1, n_2 \dots$ 表示不同的任务; T_n 代表装卸时间; h 代表 h 个贝位距离; L 代表泊位的总长度; T_b, l_V, T_V 分别表示总计划时间长、船 V 长以及船 V 计划时间长度; T_m, C_V 分别表示岸桥移动1个贝位距离的时间和船 V 计划离泊时间; M 为大于0的整数且足够大.

2.2.2 决策变量

b_V 代表船 V 停靠位置; t_{sV}, t_{aV}, t_{eV} 分别表示船 V 靠泊时间、到港时间和离港时间; t_{s,V_i}, t_{e,V_i} 分别代表船 V 贝位 i 作业开始与结束时间; $t_{s,n}, t_{e,n}$ 分别代表贝位 n 的作业开始与结束时间; E_k 代表岸桥 k 上装卸的贝位集合; X_{vitk}, X_{ntk} 分别代表贝位 i 和贝位 n 在 t 时刻是否由岸桥 k 服务,贝位 i 和贝位 n 未被岸桥 k 服务时为0,反之则为1; Y_{Vitk} 代表船 V 在 t 时刻是否由岸桥 k 服务,由岸桥 k 服务时为0,反之则为1; $Z_{n_i n_j}$ 代表任务 n_j 与 n_i 的先后关系,若任务 n_j 开始时间在 n_i 之前,则为0,反之则为1; $Y_{kn, n_j}(n_i, n_j \in E_k)$ 代表任务 n_j 与 n_i 是否都由岸桥 k 完成,若任务 n_i 被岸桥 k 完成后没有继续进行任务 n_j 时则为0,反之则为1; $W_{V_i V_j}$ 代表船舶 V_i 与 V_j 的位置关系,若船舶 V_i 停在船舶 V_j 右边($b_{V_i} + l_{V_i} < b_{V_j}$)则为0,反之则为1; $T_{V_i V_j}$ 代表船舶 V_i 与 V_j 靠泊离港的先后关系,若

船 V_i 在船 V_j 靠泊后才离港则为0,反之则为1(T_k 代表岸桥 k 完工时间).

2.3 调度模型

$$\min(\max \sum_{v=1}^V (t_{ev} - C_v)), \quad (1)$$

S.t.,

$$t_{sV} = \min \{t_{s,V_i}\}, \forall i \in \Omega_V, \quad (2)$$

$$t_{eV} = \max \{t_{e,V_i}\}, \forall i \in \Omega_V, \quad (3)$$

$$b_{V_i} + l_{V_i} \leq b_{V_j} + M(1 - W_{V_i V_j}), V_i, V_j \in V, \quad (4)$$

$$t_{eV_i} \leq t_{sV_j} + M(1 - T_{V_i V_j}), V_i, V_j \in V, \quad (5)$$

$$W_{V_i V_j} + W_{V_j V_i} + T_{V_i V_j} + T_{V_j V_i} \geq 1, V_i, V_j \in V, \quad (6)$$

$$b_V + l_V \leq L, \quad (7)$$

$$\sum_i X_{vitk} = Y_{vitk}, t \in T, i \in \Omega_V, v \in V, \quad (8)$$

$$\sum_{k \in Q} X_{vitk} = 1, t \in T, i \in \Omega_V, v \in V, \quad (9)$$

$$t_{e,n_i} - t_{s,n_j} \leq (1 - Z_{n_i n_j})M, n_i, n_j \in \Omega, \quad (10)$$

$$t_{s,n} + P_n = t_{e,n}, n \in \Omega, \quad (11)$$

$$Y_{kn, n_j} \cdot t_{e,n_i} + P_{n_j} + t_m \cdot |n_j - n_i| \leq t_{e,n_j}, \\ n_i, n_j \in \Omega, k \in Q, \quad (12)$$

$$(k_2 - k_1)(n_2 - n_1) \cdot X_{n_1 k_1} \cdot X_{n_2 k_2} \geq 0, \\ k_1, k_2 \in Q, n_1, n_2 \in \Omega, t \in T, \quad (13)$$

$$\sum_{n_i \in \Omega} Y_{kn, n_j} \leq 1, n_j \in \Omega, k \in Q, \quad (14)$$

$$\sum_{n_j \in \Omega} Y_{kn, n_j} \leq 1, n_i \in \Omega, k \in Q, \quad (15)$$

$$|n_i - n_j| \geq h \cdot X_{n_i t k} \cdot X_{n_j t(k+1)}, \\ n_i, n_j \in \Omega, k \in Q, t \in T, \quad (16)$$

$$t_{aV} + T_V = C_V, \quad (17)$$

$$t_{sV} - t_{aV} \geq 0, \quad (18)$$

式(1): 目标函数,最小化船舶最大延迟时间;式(2): 船舶作业的开始时间;式(3): 船舶作业的结束时间;式(4)、(5)和(6): 船舶所占区域不发生重叠;式(7): 船头靠泊位置取值范围;式(8)、(9): 同一台岸桥服务和操作一艘船舶中的1个贝位;式(10): 2个贝位被同一台岸桥服务的前后时间关系;式(11): 所有贝位任务的起始时间关系;式(12): 处于同一台岸桥间2个相邻贝位作业间时间关系;式(13): 岸桥间不可相互穿越;式(14)、(15): 任意的贝位任务相邻的作业最多只有2个,即连续性前序作业和后续作业各1个;式(16): 相邻贝位间的安全距离;

式(17):计划离泊时间与到港时间的关系;式(18):开始装卸前必须要等船舶停泊。

3 模型求解

传统序号编码遗传算法(Genetic Algorithm, GA)中其遗传操作为模仿非序号编码 GA, 主要遗传算子^[8]是交叉算子, 但序号编码 GA 的染色体进行交叉操作后, 很可能不再代表原问题一个解。故本文采用单亲遗传算法(PGA), PGA 取消了传统式序号编码 GA 中的交叉算子, 而采取在一条染色体中进行基因重组等遗传算子方式, 达到了简化操作和提升效率的目的, 同时对初始群内的个体无多样化要求, 也易于在遗传操作过程中处理约束优化问题的约束条件。

本文基于 PGA 提出了全岸线岸桥的动态调度方法, 其流程如下图所示。

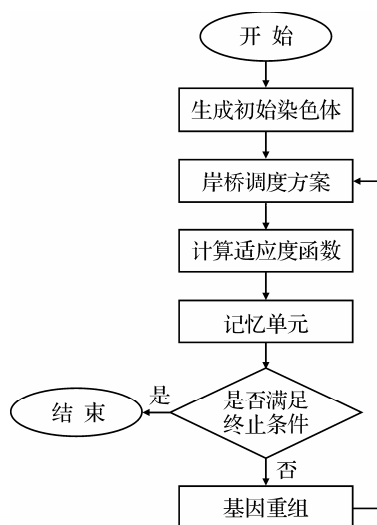


图1 PGA 流程

3.1 染色体编码

本文采用矩阵编码($a \times b$)设计染色体, 其中 a 表示全岸线岸桥的数量, b 表示所有停靠船舶装卸贝位总数。图2为一条染色体示例。

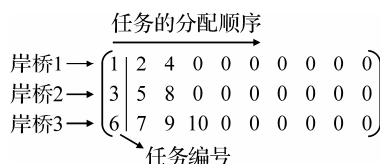


图2 染色体的编码图例

矩阵每一行对应一台岸桥, 每个数字表示分

派给该岸桥的贝位。矩阵的列数为需要装卸的贝位总数, 当分配给岸桥的贝位数量不足时, 用“0”来补齐空余部分。

3.2 染色体合法化

对染色体进行合法化的主要目的就是为了让岸桥彼此间杜绝交叉穿越与碰撞行为。图3给出了染色体合法化情况, 列1代表所有岸桥初始点贝位, 列2代表岸桥装卸贝位, 如果列2基因任务号由小至大排序, 可认为岸桥作业过程中并无穿越行为; 若不是按由小到大的顺序排列, 则会发生穿越, 此时要对基因进行合法化。若某列基因(基因序号排列顺序从上到下)中岸桥作业发生穿越且带有“0”, 那么基因合法化过程中, “0”所在处始终保持不变, 可避免染色体出现局部收敛问题。除此之外, 如果某列基因内相邻岸桥对相邻贝位序号作业, 应当从岸线右岸桥开始作业, 其余各列依次类推, 从而保证各列任务中的干扰均得到消除。

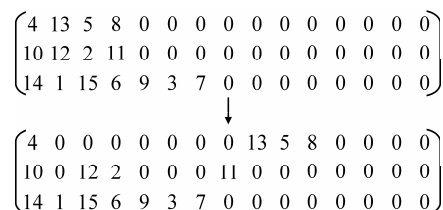


图3 染色体合法化示例

3.3 遗传操作和种群选择

PGA 表示遗传操作均由某条染色体完成, 且列1作为岸桥初始点贝位, 当完成列1任务后才开始列2的任务。因此对于染色体的列2及之后列, 本文采用 PGA 进行基因换位、移位等基因重组方法进行遗传操作。父代染色体经过遗传操作后开始对染色体实施合法化, 接着求出个体适应值, 基于父代与子代确定最理想染色体, 使种群完成有效进化。

利用遗传操作建立全新种群, 同时需要更新种群。以种群为前提, 染色体适应度值进行对比, 通过最优者取代最劣者, 这种情况下, 便能完成种群更新进化。

4 实例分析

表1为某码头某天停泊的 A, B, C, D, E 5 艘船

船分别各个在贝位的装卸量情况。

贝位号	A 装卸量		B 装卸量		C 装卸量		D 装卸量		E 装卸量	
	卸	装	卸	装	卸	装	卸	装	卸	装
1	28	2	15	30	26	12	0	48	17	15
2	0	18	15	25	21	18	2	35	0	37
3	0	5	15	25	25	19	1	10	0	0
4	0	29	0	20	21	21	0	0	0	68
5	2	18	0	8	27	18	0	35	43	46
6	27	19			1	0	4	91	0	0
7	0	22					0	3	0	50
8							0	42	0	142
9							0	5	64	0
10							0	158	0	39
11							0	0	0	56
12							0	33	15	37
13							0	1	16	55
14							0	35	0	50
15							0	78	62	5
16							0	30	0	0
17							0	80	94	43
18									0	9

图 4 表示各船舶的在港时间: 船 A 靠泊时间 21:30, 预计离港时间 6:30, 即完成装卸时间为 570 min; 船 B 靠泊时间 19:00, 预计离港时间 3:00, 即完成装卸时间为 480 min; 船 C 靠泊时间 18:30, 预计离港时间 5:45, 即完成装卸时间为 650 min; 船 D 靠泊时间 19:20, 预计离港时间 4:00, 即完成装卸时间为 520 min; 船 E 靠泊时间 15:20, 预计离港时间 5:00, 即完成装卸时间为 820 min。

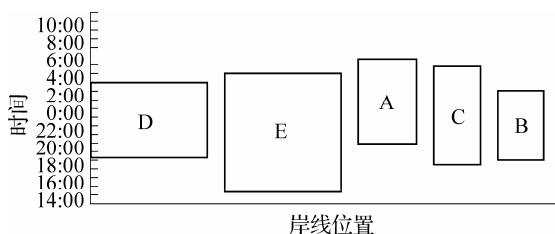


图 4 泊位分配图

选取 PGA 参数为: 种群规模 50, 终止代数 500. 当 5 艘船舶靠泊时, 从左到右依次对船舶的贝位进行编号, 即船舶 A, B, C, D, E 的贝位号各为 38~44, 53~57, 46~51, 1~17, 19~36. 用 1 个虚拟贝位来表

示船舶间距离。

以最小化所有船舶最大延迟时间为目标, 通过全岸线岸桥动态调度, 得出如图 5 所示的调度方案. 由图可知, 5 艘船各自完成作业时间分别为 178, 241, 253, 327 和 412 min.

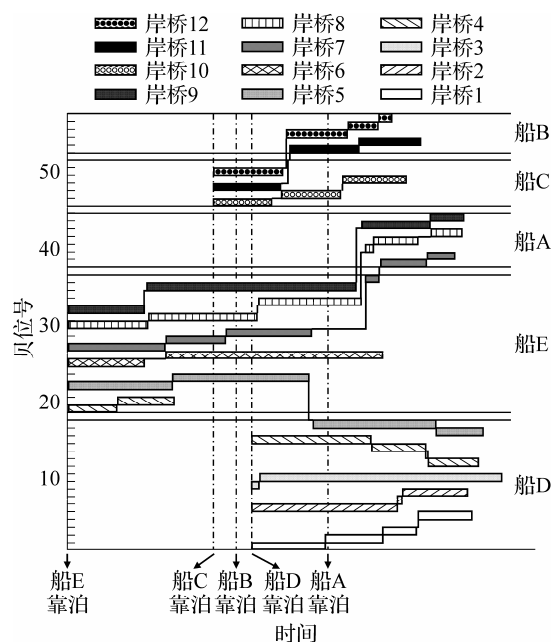


图 5 基于全岸线岸桥动态调度方案

本文调度结果与传统岸桥调度方法进行了对比, 如表 2 所示。

表 2 传统方法与全岸线岸桥动态调度方法结果对比

船舶	传统方法作业	全岸线岸桥动态调度	优化率/%
	时间/min	方法作业时间/min	
A	346	178	48.60
B	310	241	22.30
C	423	253	40.20
D	327	327	0.00
E	514	412	19.80

由表 2 可知, 全岸线岸桥动态调度方法明显有助于缩短船舶的装卸时间. 同时, 本文的调度结果也满足船舶在港时间的要求。

5 结论

本文在考虑岸桥间不能相互交叉的特性和任务的作业顺序等约束的基础上, 提出了岸桥动态调度方法, 建立了全岸线岸桥调度模型, 并采用 PGA 进行优化求解, 其模型能够真实反映出集装

箱码头装卸过程中各种约束, 得到合理的目标函数, 以此为前提制定调度方案, 一方面可确保集装箱船舶在规定时间内离泊, 最大化节省作业时间, 另一方面有利于实现岸桥资源共享, 提高装卸效率. 论文结合实例证明了所提出方法的可行性与有效性.

参考文献:

- [1] 赵坤强, 韩晓龙, 梁承姬. 连续泊位下集装箱港口泊位与桥吊协同调度优化研究[J]. 武汉理工大学学报, 2011, 33(11):60-65.
- [2] 靳志宏, 李娜. 基于泊位计划的集装箱码头岸桥动态调度优化[J]. 交通运输系统工程与信息, 2011, 11(3): 58-64.
- [3] 杨春霞, 王诺. 基于多目标遗传算法的集装箱码头泊位-岸桥分配问题研究[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(5):1720-1722.
- [4] 董良才, 宓为建. 全岸线集装箱装卸桥调度模型研究[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(13):216-222.
- [5] Tavakkoli-Moghaddam R, Makui A, Salahi S, et al. An efficient algorithm for solving a new mathematical model for a quay crane scheduling problem in container ports[J]. Computers & Industrial Engineering, 2009, 56(1):241-248.
- [6] 白治江, 黄卿. 基于滚动规划的泊位和岸桥分配集成模型研究[J]. 计算机工程与应用, 2014, 50(18):265-270.
- [7] 秦进, 倪玲霖, 王承娜, 等. 集装箱码头岸桥调度优化模型及算法[J]. 西南交通大学学报, 2013, 48(1):184-192.
- [8] 李建辉, 胡燕海. 基于单亲遗传算法的集装箱码头岸桥作业调度[J]. 宁波大学学报(理工版), 2015, 28(1): 113-117.

Dynamic scheduling of quay crane along entire coast based on partheno-genetic algorithm

ZHANG Ying^{1,2,3}, HU Yan-hai^{4*}

(1.Faculty of Maritime and Transportation, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.National Traffic Management Engineering & Technology Research Center Ningbo University Sub-center, Ningbo 315211, China;

3.Jiangsu Province Collaborative Innovation Center for Modern Urban Traffic Technologies, Ningbo 315211, China;

4.Faculty of Mechanical Engineering & Mechanics, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: The dynamic scheduling problem with quay crane along entire coast is studied. A optimization method with rolling berth allocation is proposed. A collaborative scheduling model is established. The scheduling problem is tackled using a partheno-genetic algorithm based on matrix coding. The numerical example shows that, comparing to the traditional static scheduling method, the operation efficiency of container terminal is improved and the berthing time of container ship is shortened using the proposed scheduling method.

Key words: container terminal; rolling berth; entire coast quay crane scheduling; partheno-genetic algorithm

(责任编辑 韩 超)