

## 集装箱码头出口箱区混堆问题优化

蔡兴武<sup>1,2,3</sup>, 胡燕海<sup>4\*</sup>

(1. 宁波大学 海运学院, 浙江 宁波 315211;

2. 国家道路交通安全管理工程技术研究中心 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:** 基于各港口出口箱混堆的随机堆存状态, 以多港码头堆场的总倒箱量和场桥贝位间往复移动次数最小化为优化目标函数, 建立堆场取箱优化模型. 利用遗传算法对堆场取箱顺序进行扫描优化. 与传统取箱对比, 本研究提出的方法能够在较少场桥贝位间移动的条件下使倒箱量最小化.

**关键词:** 出口箱混堆; 倒箱; 场桥移动; 取箱顺序; 遗传算法

**中图分类号:** U169.63

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-5132 (2018) 01-0089-05

集装箱的装卸效率直接反映了码头整体运营管理的先进化程度. 许多学者在堆场方面做了大量的研究, 如卫家骏<sup>[1]</sup>运用启发式算法来优化在倒箱为零等多个约束条件下建立集装箱堆存位置模型; Tavakkoli-Moghaddam 等<sup>[2]</sup>提出了多船到港情况下岸桥调度以及分配问题; 周鹏飞等<sup>[3]</sup>将箱位选择分成堆场分配和具体箱位选择, 建立了两个不同倒箱最少的目标函数, 并用禁忌搜索求解问题. 李建辉等<sup>[4]</sup>以船舶作业时间以及岸桥闲置时间最短作为目标函数, 建立了面向单船的集装箱码头岸桥调度和装卸任务分配问题的模型. 以往的研究者们大都关注码头起重机装卸效率<sup>[5-6]</sup>以及装卸时间<sup>[7]</sup>等, 避免出口箱区混堆贝位<sup>[8]</sup>的产生, 以此来简化问题.

出口箱区混堆, 倒箱是首先要考虑的问题. 为了解决出口箱区混堆情况下的调度问题, 本文提出了在全航线下, 根据堆场的堆存模式, 考虑取箱顺序对船舶配载的影响, 以堆场倒箱量和场桥贝位间往复移动次数最小为优化目标建立模型, 运用扫描法取箱优化得到最佳堆场取箱顺序.

## 1 问题描述

出口箱区混堆优化可以描述为: 假设一条船舶计划挂靠  $P$  个港口, 根据运输矩阵<sup>[9]</sup>随机产生不同港口的出口箱区混堆矩阵, 根据船舶自身的约束以及在各港口的装卸状态来确定每个港口的取箱顺序, 以便倒箱量与场桥贝位间往复移动次数加权和最小化.

### 1.1 场桥贝位间往复移动次数定义

为了记录场桥的贝位间往复移动次数  $k$ , 假设出口箱区每个贝位为  $4 \times 6$  的矩阵(若堆得箱数不够, 用 0 表示), 这样各港口集装箱可看作集装箱堆箱在对应堆场的贝位中(图 1).

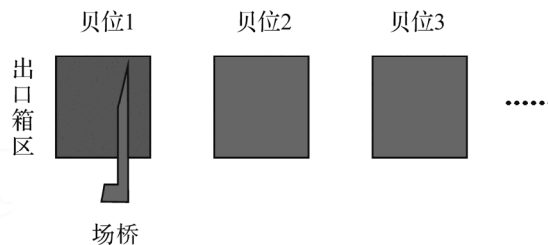


图 1 出口箱区堆箱

收稿日期: 2017-04-18.

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

基金项目: 国家自然科学基金(51408323).

第一作者: 蔡兴武(1990-), 男, 湖北武汉人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 集装箱运输、智慧物流. E-mail: 774264286@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、集装箱运输等. E-mail: huyanhai@nbu.edu.cn

扫描取箱时, 若不合理的取箱, 场桥会在贝位 1、贝位 2、贝位 3 间往复移动, 严重影响效率. 如场桥在贝位 1 取箱后移至贝位 2 取箱, 接着又移至贝位 1 取箱的操作记为 1 次  $k$ .

## 1.2 权重 $u$ 的确定

为确定场桥贝位间往复移动次数与倒箱数之间的权重  $u$ , 从 A 处出发选用两种不同方案取集装箱 B 和 C, 如图 2 所示. 其中  $S$  为跨贝位的安全距离,  $L$  为场桥取箱移动距离,  $m$  为两栈的间距.

方案 1 为场桥跨贝位完成 A-B-C 的取箱操作; 方案 2 为在 1 个贝位内的取箱操作, 路线 A-C-B-C.  $L$  可取平均距离, 定义出口箱区矩阵是  $4 \times 6$  矩阵, 故  $L=(m+2m+3m+4m+5m)/5=3m$ .  $S$  安全距离一般为 2 个贝位间隔<sup>[10]</sup>; 定义的出口箱区矩阵是  $4 \times 6$  矩阵, 即  $S=10m$ .

方案 1 的路径距离为  $a_1=2S+L$ , 方案 2 的路径距离为  $a_2=L+2m$ , 两种方案同时除以场桥的平均移动速度  $v$  (考虑到场桥在贝位内移动速度不等于跨贝位移动速度) 后, 作商比较即可得到结果. 即  $u=(a_1/v)/(a_2/v)=(2S+L)/(L+2m)=4.6$ . 考虑到倒箱为整数, 目标函数计算后得到的结果应为整数, 故  $u$  取 5.

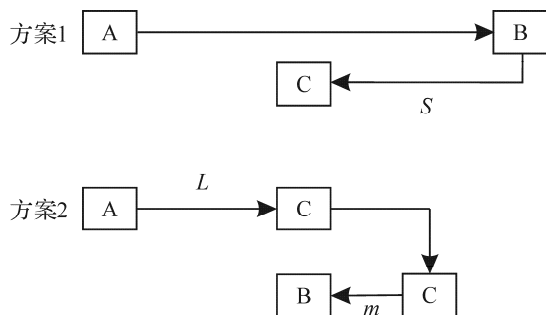


图 2 不同取箱方案

## 2 模型建立

### 2.1 假设条件

(1) 集装箱船在起始港装载集装箱, 中途挂靠港口卸载该港口的目的箱, 并装载后续港口集装箱, 直到第  $p$  个港口全部卸完.

(2) 假设集装箱的装/卸作业是相互独立的, 即后续港口卸箱操作完成后才进行装箱操作.

(3) 假定配载计划时不需要考虑冷藏箱以及特殊箱.

(4) 假设各目的港相同的集装箱构成同类箱组.

(5) 假设船舶一次航行停靠  $p$  个港口, 到每个港口的取箱信息已知, 但堆场未做预倒箱.

(6) 假设船舶待装载的集装箱都为同尺寸的集装箱, 即 12.192 m 或 6.096 m 集装箱.

### 2.2 参数和变量设计

在集装箱船舶配载的数学优化模型中, 我们采用的参数和变量为:  $i$  表示集装箱堆存在某街的第  $i$  个贝位内,  $i=1,2,3,\dots,I$ ;  $r$  表示集装箱在堆场某贝位的第  $r$  列,  $r=1,2,3,\dots,R$ ;  $t$  表示集装箱在某贝位的第  $t$  层,  $t=1,2,3,\dots,T$ ;  $p$  表示停靠的某个港口,  $p=1,2,3,\dots,P$ ;  $a_p(i,r)$  表示在  $p$  港口, 第  $i$  贝位中  $r$  列的集装箱量;  $x_{pr}=1$  表示在  $p$  港  $r$  列有倒箱, 否则  $x_{pr}=0$ ;  $j_i^L$  为贝位  $i$  中待装集装箱的数量;  $j_i^D$  为贝位  $i$  中待卸集装箱的数量;  $M_p$  为计划装载的集装箱数量;  $N_p$  为计划装载集装箱的数量;  $k$  为场桥移动次数.

### 2.3 优化目标及约束

$$Z = \min(Z_1 + \lambda Z_2), \quad (1)$$

$$Z_1 = \sum_{p=1}^{P-1} \sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^I a_p(i,r) x_{pr}, \quad (2)$$

$$Z_2 = \sum_{p=1}^{P-1} k, \quad (3)$$

$$\sum_{p=1}^n a_p(i,r) - \sum_{p=1}^n R \leq 0, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I j_i^D + \sum_{i=1}^I j_i^S = M_p, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^I j_i^S + \sum_{i=1}^I j_b^L = N_p, \quad (6)$$

式(1)表示考虑堆场倒箱和场桥往复移动次数的目标函数; 式(2)表示单独考虑堆场产生倒箱; 式(3)表示吊桥大跨度移动次数, 大跨度移动次数越少表明装载越成功; 式(4)表示该船舶在挂靠港口某贝位集装箱数量不超过该贝位集装箱容量; 式(5)和(6)表示既定贝位或箱区的集装箱都能卸到或者装至既定的箱位或贝位.

## 3 算法设计

配载问题是 NP 问题, 普通算法很难获得满意的解, 遗传算法在解决 NP 问题上有独特的优势<sup>[11]</sup>,

因此选用遗传算法来解决优化问题. 遗传算法主要包括如下4个部分: 待解决问题的编码问题、适应度函数的设计问题、遗传操作选取以及参数选取问题.

基因编码的方式有很多: 二进制编码(解决01背包问题)、互换编码(解决排序问题, 如旅行商问题)、树形编码、值编码<sup>[12]</sup>. 为方便编码, 我们运用matlab实数编码.

### 3.1 基于出口箱区混堆的染色体设计

首先, 根据运输矩阵, 随机构建堆场各港口出口箱区堆箱状态  $E=[g1, g2, \dots, gp]$ , 用产生  $E$  中的第一个港口混堆  $g1$  来具体说明.  $N$  表示运输的所有集装箱量/4;  $a, b, c, d$  对应相应港口目的箱, 1 表示港口堆箱, 包含港口数值  $a, b, c, d$ ; 2 表示港口堆箱, 包含港口数值  $b, c, d$ ; 3 表示港口堆箱, 包含港口数值  $c, d$ ; 4 表示港口堆箱, 包含港口数值  $d$ , 如果箱数不足以构成矩阵时用 0 补位.

$$g1 = \begin{bmatrix} d & a & c & \cdots & c & a & b \\ c & a & d & \cdots & c & c & b \\ d & c & a & \cdots & c & d & d \\ b & d & b & \cdots & b & d & 0 \end{bmatrix}_{4 \times N}.$$

其次, 根据运输矩阵产生一个随机的取箱顺序  $L$ (染色体), 即用取箱顺序  $L$  来取  $E$  中的箱. 染色体中的  $a, b, c, d$  依旧表示相应港口的某个集装箱,  $f=4 \times N$ , 表示集装箱的总体运输量.

$$L=[c \ c \ a \ \cdots \ d \ b \ c]_f.$$

设计编程时, 根据  $L$  中的每个数值, 扫描  $E$  中的箱, 若第一行有该箱, 则取走, 记倒箱 0 次, 该箱处变为 0; 否则, 扫描第二行中的箱, 若存在, 查看第一行该处箱数值, 若第一行数值不为 0, 则记倒箱 1 次, 并重置该处为 0. 依次取到  $L$  的最后一位, 记录总倒箱, 用  $z1$  表示. 同时, 记录扫描取箱整个过程中产生的场桥贝位间多余往复移动次数, 用  $k$  表示.

### 3.2 适应度函数

在适应度函数选取中考虑整条航线的倒箱及场桥贝位间往复移动的次数最小. 故适应度函数设计为:  $f(x) = C_x - Z$ , 其中  $C_x$  是无限大的正数,  $Z$  为我们的目标函数, 即  $Z$  分别为堆场倒箱与场桥贝位间往复移动次数之和.

### 3.3 遗传算子

我们的遗传算子包括两部分: 在 1 条染色体上进行本变异, 在 2 条染色体间交叉. 采用交叉操作的具体过程为:

(1) 随机产生一个小数  $r$  并与设定参数进行对比, 如果  $r$  小于设定的参数, 则存放需要交叉的染色体序号, 并记录需要交叉染色体的个数; 若染色体个数为奇数, 则染色体少记录一条转成偶数, 若是偶数无需变动.

(2) 在染色体长度范围里随机产生交叉的位置, 并按升序排列, 选择最前的位置  $a11$  作为交叉点.

(3) 选取两个父代染色体的前  $a11$  段基因, 进行交换基因的互换操作, 得到两个子代染色体, 为在设计编码时方便, 故意设计成交叉点相同, 避免染色体的产生.

(4) 记录此时变异后染色体倒箱, 并与父代其他染色体的倒箱进行比较, 以便选取倒箱最小染色体.

我们采用基因突变操作, 此次基因突变可以在整条染色体的任何位置, 具体过程为:

(1) 随机产生一个小数  $r_r$  并与设定的参数进行比较, 如果小数  $r_r$  小于设定的参数, 则转至(2), 否则转至(5).

(2) 随机产生 2 个自然数  $r_1$  和  $r_2$  记录其位置,  $r_1$  和  $r_2$  表示染色体的变异位.

(3) 交换染色体的第  $r_1$  列和第  $r_2$  列.

(4) 更新染色体.

(5) 记录此时变异后染色体倒箱, 并使其与父代其他染色体的倒箱进行比较, 以选取倒箱最小的染色体.

### 3.4 算例求解

假设船舶由始发港  $p=1$  开始装箱, 途经 3 个挂靠港, 到第 5 个港口卸载完所有集装箱, 装箱矩阵为已知信息, 见表 1.

表 1 装箱矩阵

1	2	3	4	5	装载总箱数
-	66	35	44	21	166
-	-	44	30	26	100
-	-	-	43	36	79
-	-	-	-	38	38

产生各港口混堆  $g1$ 、 $g2$ 、 $g3$ 、 $g4$ .

$$g4 = \begin{bmatrix} 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 0 & 0 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 5 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

- [1] 卫家骏. 出口集装箱堆场位置的优化[J]. 重庆交通大学学报, 2010, 29(3):470-473.
- [2] 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.

- [3] 周鹏飞, 方波. 动态环境下集装箱码头堆场出口箱箱位分配建模与算法研究[J]. 控制与决策, 2011, 26(10): 1571-1576.
- [4] 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.
- [5] Nguyen S, Zhang M, Johnston M, et al. Hybrid evolutionary computation methods for quay crane scheduling problems[J]. Computers & Operations Research, 2013, 40(8):2083-2093.
- [6] Lu Z Q, Han X L, Xi L F, et al. A heuristic for the quay crane scheduling problem based on contiguous bay crane operations[J]. Computers & Operations Research, 2012, 39(12):2915-2928.
- [7] Meisel F, Bierwirth C. A unified approach for the evaluation of quay crane scheduling models and algorithms[J]. Computers & Operations Research, 2011, 38(3):683-693.
- [8] 朱雯. 集装箱船多港配载优化研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.
- [9] 张维英, 林焰. 集装箱船全航线 Bay 位排箱优化模型[J]. 上海交通大学学报, 2007, 41(2):199-204.
- [10] 靳志宏, 兰辉. 基于现实约束的集装箱装船顺序优化[J]. 大连海事大学学报, 2011, 37(1):71-74.
- [11] Kavesghar N, Huynh N, Rahimian S. An efficient genetic algorithm for solving the quay crane scheduling problem[J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(18): 13108-13117.
- [12] 王敏, 李铁克. 改进的单亲遗传算法求解倒垛问题[J]. 工业工程与管理, 2009, 14(4):67-71.

## The optimization of mixed set of export container at container terminal

CAI Xing-wu<sup>1,2,3</sup>, HU Yan-hai<sup>4\*</sup>

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

2.Ningbo University Sub-centre, National Traffic Management Engineering & Technology Research Centre, 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:** Based on the random storage status of export container at container terminals, the container yard loading method was proposed. With the objective of minimizing the total shift of container and the total number of container yard cranes reciprocating movement between bays at yard, an optimization model was established. Genetic algorithm was used to optimize the model. By numerical experiment, it came into the conclusion that the container shift can be reduced obviously with the proposed method compared to the traditional one under the condition that the yard cranes may have less reciprocating movement.

**Key words:** mixed set of export container; shift container; yard crane movement; container sequence; genetic algorithm

( 责任编辑 史小丽 )

