



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101585453 B

(45) 授权公告日 2014. 05. 07

(21) 申请号 200810171642. 2

(22) 申请日 2008. 10. 23

(66) 本国优先权数据
200810043377. X 2008. 05. 20 CN

(73) 专利权人 上海海事大学
地址 200135 上海市浦东新区浦东大道
1550 号

(72) 发明人 宓为建 严伟 裘道方 何军良
张艳伟 谢尘 陆后军 边志成
王红湘 沈银娟 王朝霞

(74) 专利代理机构 上海天翔知识产权代理有限
公司 31224
代理人 朱妙春

(56) 对比文件

JP 2004192533 A, 2004. 07. 08,
US 3952891 A, 1976. 04. 27,
CN 1564179 A, 2005. 01. 12,
CN 101042743 A, 2007. 09. 26,
CN 101042745 A, 2007. 09. 26,

审查员 陈彦飞

(51) Int. Cl.

B65G 63/00 (2006. 01)
G06Q 10/08 (2012. 01)
G06Q 50/28 (2012. 01)

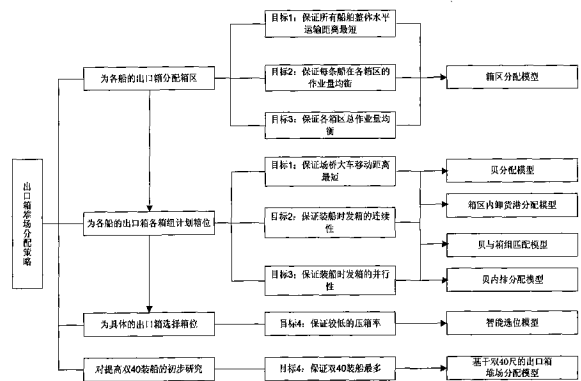
权利要求书9页 说明书36页 附图16页

(54) 发明名称

集装箱码头出口箱堆场自动分配方法

(57) 摘要

本发明公开了集装箱码头出口箱堆场自动分配方法,其包括以下步骤:首先为各船的出口箱分配箱区,然后为各船的出口箱各箱组计划箱位,最后为具体的出口箱选择箱位。本发明对出口箱箱区分配、箱位计划、进场自动选位进行深入研究和对提高双40装船的比例的初步考虑,有利于提高既定堆场密度下出口箱堆垛的有序性,具有为后续装船作业的有序组织奠定良好基础的重要意义。



1. 集装箱码头出口箱堆场自动分配方法,其特征在于,该方法包括以下步骤:首先为各船的出口箱分配箱区,然后为各船的出口箱各箱组计划箱位,最后为具体的出口箱选择箱位;

所述为各船的出口箱分配箱区首先给各船分配集港箱区段,然后通过决策模型决策各船出口箱堆存区段;所述各船对应区段数的确定方法:

(1). 若装船时每个出口箱堆存区段配备 1 台轮胎吊,则一个作业线分配两个堆场箱区;由于装船时只要一个箱区内只有 1 台轮胎吊,一个堆场区段只允许对应某船舶的 1 条作业线,堆场箱区数为作业线数的 2 倍;

(2). 若堆存箱区数不足,则可计划最接近 2 倍作业线的箱区,然后将计划的每个箱区分成两部分,两部分之间至少隔开一个大贝,这样可以保证同一箱区内如果有两台场桥能够同时作业;

所述为各船的出口箱各箱组计划箱位,需要根据当前时段内为每条船分配箱区的实际情况,决策各船在各箱区的贝计划,各船各卸货港在不同箱区的分布计划,贝与箱组匹配计划,贝内排计划;

所述具体的出口箱选择箱位中构建出口箱自动选位模型,该模型包括第一级分配策略的选位模型以及混堆模型;

所述决策模型包括以下部分:

决策函数:

TP: 决策周期需要预做堆存计划的时段;决策周期为 4 天,12 个小时为一个计划时段,TP = 8, 每个计划时段用 t 表示,每次只有 $t=1$ 的计划时段的决策被执行;

NA: 普通箱区数;

P: 当前决策周期,每个决策周期开始时更新当前决策周期为 P,;

VP_t : 决策周期 P 内计划时段 t 预做堆存计划的船舶集合;

VP_{jt} : 当前决策周期 P 内的计划时段 t 内的船舶 j ;

NVP_{ti} : 计划时段 t 内区段 i 中已有船舶或已计划船舶的集合;

B_{jt} : 船 VP_{jt} 的预靠泊位位置,以船舶的中心位置为准;

d_{ijt} : 堆场区段 i 与计划时段 t 内船舶 j 预靠泊位之间的距离;

$N20_{jt}$: 计划时段 t 内的船舶 j 出口箱普通 20 尺的数量;

$N40_{jt}$: 计划时段 t 内的船舶 j 出口箱普通 40 尺的数量;

Row_i : 箱区 i 内允许堆放的排数;

$Tier_i$: 箱区 i 内允许堆放的层数;

OPL_j : 船舶 j 装船时预计的作业线数;

K_{jt} : 计划时段 t 内的船舶 j 处于集港的第几个时段,每条船集港分 8 个时段;

STH_{it} : 计划时段 t 时箱区 i 内所有船舶的作业,即装船或卸船,开始时间集合,其包括已有船舶和已计划船舶, $STH_{it} = \{STH_{it1}, STH_{it2}, \dots, STH_{itm}\}$;

ETH_{it} : 计划时段 t 时箱区 i 内所有船舶的作业,即装船或卸船,结束时间集合,其包括已有船舶和已计划船舶, $ETH_{it} = \{ETH_{it1}, ETH_{it2}, \dots, ETH_{itm}\}$;

ST_{jt} : 计划时段 t 内的船舶 j 的装船开始时间;

ET_{jt} : 计划时段 t 内的船舶 j 的装船结束时间;

$N_{20_i,jt,k}$: 计划时段 t 之前的时段 k 内船舶 j 计划到箱区 i 的 20 尺出口箱箱量;

$N_{40_i,jt,k}$: 计划时段 t 之前的时段 k 内船舶 j 计划到箱区 i 的 40 尺出口箱箱量;

$NU_{i(t-1)}$: 当前决策周期的 $t-1$ 时段末时, 区段 i 的空贝数, 根据船舶的离港时间和提箱的统计规律预测;

$NUB_{i(t-1)}$: 当前决策周期的 $t-1$ 时段末时, 区段 i 的空大贝数, 根据船舶的离港时间和提箱的统计规律预测, 大贝为一个箱区中连续相邻的两个贝组合而成, 空大贝即为箱区中连续相邻的两个空贝组成;

λ : 宽泛系数, 选择箱区时, 箱区的空位数应不小于分到该箱区的箱量乘以宽泛系数;

N_{large_0} : N_{large_0} 为较大的正实数, 一般可设 $N_{large_0}=1000$, 若 $N_{20_jt}+2*N_{40_jt}>N_{large_0}$ 表明船舶 VP_{jt} 的出口箱量较多;

N_{small_0} : N_{small_0} 为较小的正实数, 一般可设 $N_{small_0}=200$, 若 $N_{20_jt}+2*N_{40_jt}<N_{small_0}$ 表明船舶 VP_{jt} 的出口箱量较少;

决策参数:

$$AL_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{区段 } i \text{ 在计划时段 } t \text{ 内分配给船舶 } VP_{jt} \\ 0, & \text{区段 } i \text{ 在计划时段 } t \text{ 内未分配给船舶 } VP_{jt} \end{cases}, \text{ 一旦确定了集港堆存区段, 在集港过程中,}$$

相应的集装箱将堆存在该区段, 其中 $1 \leq i \leq NA, VP_{jt} \in VP_t$

$$HAL_{ijt_k} = \begin{cases} 1, & \text{区段 } i \text{ 在计划时段 } t \text{ 之前的时段 } k \text{ 内分配给船舶 } VP_{jt} \\ 0, & \text{区段 } i \text{ 在计划时段 } t \text{ 之前的时段 } k \text{ 内未分配给船舶 } VP_{jt} \end{cases}$$

$N_{20_i,jt}$: 计划时段 t 内船舶 j 计划到箱区 i 的 20 尺出口箱箱量;

$N_{40_i,jt}$: 计划时段 t 内船舶 j 计划到箱区 i 的 40 尺出口箱箱量;

目标函数:

$$f_1 = \text{Min} \sum_{t=1}^{TP} \sum_{j \in VP_t} \sum_{i=1}^{NA} (N_{20_ijt} + N_{40_ijt}) * AL_{ijt} * d_{ij}$$

$$\forall j \in VP_t, f_2 = \text{Min} \left\{ \text{Max}_{(i)} \left[\sum_{k=1}^{K_t} [(N_{20_ijtk} + 2 * N_{40_ijtk}) * HAL_{ijtk}] + \sum_{t=1}^{8-K_t} [(N_{20_ijt} + 2 * N_{40_ijt}) * AL_{ijt}] \right] - \text{Min}_{(i)} \left[\sum_{k=1}^{K_t} [(N_{20_ijtk} + 2 * N_{40_ijtk}) * HAL_{ijtk}] + \sum_{t=1}^{8-K_t} [(N_{20_ijt} + 2 * N_{40_ijt}) * AL_{ijt}] \right] \right\}$$

$$f_3 = \text{Min} \left\{ \sum_{t=1}^{TP} \left[\text{Max}_{(i)} \left(\sum_{j \in VP_t} (N_{20_ijt} + 2 * N_{40_ijt}) * AL_{ijt} \right) - \text{Min}_{(i)} \left(\sum_{j \in VP_t} (N_{20_ijt} + 2 * N_{40_ijt}) * AL_{ijt} \right) \right] \right\}$$

构建多目标规划: $\text{Min} \{ \omega_1 * f_1, \omega_2 * f_2, \omega_3 * f_3 \}$

约束条件:

$t \in TP, j \in VP_t$

$$N_{20_jt} = \sum_{i=1}^{NA} AL_{ijt} * N_{20_ijt}$$

$$N_{40_jt} = \sum_{i=1}^{NA} AL_{ijt} * N_{40_ijt}$$

$$\text{Min} \left| \sum_{k=1}^{K_j} \sum_{i=1}^{NA} HAL_{ijt_k} + \sum_{t=1}^{8-K_j} \sum_{i=1}^{NA} AL_{ijt} - 2 * OPL_{jt} \right|$$

$$\forall t = (1, 2, \dots, 8), \lambda * \left(\sum_{j \in VP_t} N20_{jt} + 2 * \sum_{j \in VP_t} N40_{jt} \right) \leq \sum_{i=1}^{NA} AL_{ijt} * NU_{i(t-1)} * [Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)] ,$$

其中只要 $\exists j \in VP_t$, 使得 $AL_{ijt} = 1$, 即可

$$\forall t = (1, 2, \dots, 8), \lambda * \sum_{j \in VP_t} N40_{jt} \leq \sum_{i=1}^{NA} AL_{ijt} * NUB_{i(t-1)} * [Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)]$$

$$\forall m \in NVP_{it} , AL_{ijt} * [STH_{mt} - ET_{jt}] * [ETH_{mt} - ST_{jt}] > 0$$

对于 $VP_{xt}, VP_{yt} \in VP_t$, 若 $N20_{xt} + 2 * N40_{xt} > N_{large_0}$ 且 $N20_{yt} + 2 * N40_{yt} > N_{large_0}$, 则 $AL_{ixt} \cdot AL_{iyt} = 0, 1 \leq i \leq NA$;

所述贝计划中的贝分配模型由以下部分组成 :

决策函数 :

Q_all_v : 当前时段分配给船舶 v 的出口箱区集合 ;

NB_i : 箱区 i 内空贝的集合 ; 贝分配时只能分配空的贝, 所述空贝是指当该船的出口箱集港时, 该贝是空的, 且未计划给别的船 ;

L_{ijk} : 箱区 i 内第 j 贝和第 k 贝之间的距离 ;

Dis : 一个贝的宽度 ;

$N40_{iv}$: 箱区 i 内计划船 v 的 40 尺的箱量 ;

$N20_{iv}$: 箱区 i 内计划船 v 的 20 尺的箱量 ;

Row_i : 箱区 i 内允许堆放的排数 ;

$Tier_i$: 箱区 i 内允许堆放的层数 ;

Bno_j : 箱区 i 内第 j 贝的贝号 ;

$Blsn_{iv}$: 箱区 i 内分配给船舶 v 的左边界贝的贝号 ;

$Bren_{iv}$: 箱区 i 内分配给船舶 v 的右边界贝的贝号 ;

$Bblsn_{iv}$: 箱区 i 内之前分配给船舶 v 的左边界贝的贝号 ;

$Bbren_{iv}$: 箱区 i 内之前分配给船舶 v 的右边界贝的贝号 ;

$Bvall_{iv}$: 箱区 i 内分配给船舶 v 的贝集合 ;

OPi_j : 判断箱区 i 内第 j 贝与其相邻贝是否属于同一条作业线 ;

$Badn_{iv}$: 箱区 i 中给船 v 计划的贝中连续贝的块集合, 块为一个箱区中连续相邻的几个贝组合而成 ;

Bn_{biv} : 箱区 i 中给船 v 计划的块 b 的贝数 ;

Sad_{ij} : 箱区 i 内第 j 贝相邻贝的作业开始时间, 即装船或卸船的开始时间 ;

Ead_{ij} : 箱区 i 内第 j 贝相邻贝的作业结束时间, 即指装船或卸船的开始时间 ;

S_{ij} : 箱区 i 内第 j 贝的装船开始时间 ;

E_{ij} : 箱区 i 内第 j 贝的装船结束时间 ;

λ : 贝分配时的宽泛系数 ;

决策变量 :

$$F_{iv} = \begin{cases} 1, \text{箱区的第}j\text{贝作为船}v\text{集港箱的计划贝;} \\ 0, \text{箱区的第}j\text{贝不作为船}v\text{集港箱的计划贝;} \end{cases}$$

$$BP_{iv} = \begin{cases} 1, \text{箱区内之前已经计划过船}v\text{的贝;} \\ 0, \text{箱区内之前没有计划过船}v\text{的贝;} \end{cases}$$

目标函数：

$$f_1 = \text{Min} \sum_{v \in VP_1} \sum_{i \in Q_all_v} \sum_{j \in NB_i, k \in NB_i} F_{ijv} * F_{ikv} * L_{ijk}$$

$$f_2 = \text{Min} \sum_{v \in VP_1} \sum_{i \in Q_all_v} \left(BP_{iv} * \left[\text{Max}(|Blsn_{iv} - Bbren_{iv}|, |Bren_{iv} - Bblsn_{iv}|) / 2 + 1 \right] * Dis \right)$$

$$\text{Min}(\omega_1 * f_1 + \omega_2 * f_2)$$

约束条件：

$$i \in Q_all_v, j \in NB_i, v \in VP_1$$

$$\forall i \in Q_all_v, v \in VP_1, \sum_{j \in NB_i} F_{ijv} * (Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)) = \lambda * (N20_{iv} + 2 * N40_{iv})$$

$$\forall v \in VP_1, i \in Q_all_v, \sum_{j \in [Blsn_{iv} + 2, Bren_{iv} - 2]} ((1 - F_{ijv}) * (1 - F_{i(j+1)v})) = 1$$

$$\forall v \in VP_1, i \in Q_all_v, j \in Bvall_{iv}, OP_{ij} * (S_{ij} - Ead_{ij}) * (E_{ij} - Sad_{ij}) \geq 0; \text{其中}$$

$$OP_{ij} = \begin{cases} 1; \text{箱区内第}j\text{贝与相邻贝不属于同一条作业线;} \\ 0; \text{箱区内第}j\text{贝与相邻贝属于同一条作业线;} \end{cases}$$

$$\forall i \in Q_all_v, v \in VP_1, \sum_{b \in Badn_{iv}} \lfloor Bn_{div} / 2 \rfloor * [Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)] \geq \lambda * N40_{iv}$$

$$Badn_{iv} = Bvall_{iv}$$

$$\lambda > 1$$

$$L_{ijk} > 0, Dis > 0;$$

所述各船各卸货港在不同箱区的分布计划中的卸货港分配模型保证并行发箱，一个是保证不同作业线可以同时发箱，另一个是保证同一条作业线可以并行发箱，即同一个港口的应计划在不同的区段；其主要包括以下部分：

决策函数：

Q_all_b: 当前计划之前已经分配给船舶的出口箱区集合；

Q_bh_Lp: 船舶的卸货港 p 前 50% 箱子所在的箱区；

Q_ah_Lp: 船舶的卸货港 p 后 50% 箱子计划的箱区；

LP_all: 船舶的所有卸货港的集合；

LP0_i: 船舶的在箱区 i 内已存在卸货港的集合；

LPP_i: 船舶的在箱区 i 内当天计划卸货港的集合；

Lp_p: 船舶的卸货港 p, p 按照挂靠港先后顺序排列；

决策参数：

$$SLp_p = \begin{cases} 1, & \text{对于当天的计划, 如果卸货港} p \text{计划在两个或以上的箱区;} \\ 0, & \text{对于当天的计划, 如果卸货港} p \text{计划在一个箱区;} \end{cases}$$

$$Lp_{pi} = \begin{cases} 1, & \text{卸货港} p \text{分布在箱区} i \text{中;} \\ 0, & \text{卸货港} p \text{未分布在箱区} i \text{中;} \end{cases}$$

目标函数：

$$\text{Min} \sum_{p \in LP_{all}} SLp_p$$

约束条件：

如果 $Q_all_v \cap Q_all_b \neq \emptyset$, 则 $LPO_i \cap LPP_i = \emptyset$, 其中 $i \in (Q_all \cap Q_all_b)$

$Q_bh_Lp_p \cap Q_ah_Lp_p = \emptyset$, 其中 $Lp_p \in LP_{all}$

$$\sum_{p \in LP_{all}} Lp_{pi} * Lp_{(p-1)i} * |p - (p-1)| + 1 = \sum_{p \in LP_{all}} Lp_{pi};$$

所述贝与箱组匹配计划中的贝与箱组匹配模型将同一尺寸、同一船舶、同一卸货港、同一吨级的集港箱为一个箱组, 将船舶的箱组按卸货港由远及近、尺寸 20 和 40、吨级由重及轻进行排序, 并按该序列为箱组编号; 其由以下部分组成:

决策函数：

CG_{all} : 船舶的出口箱箱组集合;

NO_m : 船舶出口箱的箱组 m 的箱组号; 按照箱组排序先后顺序排列编号;

CG_i : 船舶出口箱在箱区 i 内的箱组数;

$BPCG_{im}$: 箱组 m 计划在箱区 i 内的贝;

$BTCG_{im}$: 箱组 m 如果需要跨贝时, 在箱区 i 内跨越的贝;

$B_{i,j}$: 箱区 i 内第 j 贝的贝号;

决策变量

$$MT_{ijm} = \begin{cases} 1, & \text{箱区} i \text{内第} j \text{贝计划给第} m \text{个箱组堆存;} \\ 0, & \text{箱区} i \text{内第} j \text{贝未计划给第} m \text{个箱组堆存;} \end{cases}$$

$$BP_m = \begin{cases} 1, & \text{箱组} m \text{计划在箱区} i \text{内;} \\ 0, & \text{箱组} m \text{计划未在箱区} i \text{内;} \end{cases}$$

$$Size_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{如果箱区} i \text{内第} j \text{贝第} k \text{排与} k-1 \text{排计划的箱组尺寸不一致;} \\ 0, & \text{如果箱区} i \text{内第} j \text{贝第} k \text{排与} k-1 \text{排计划的箱组尺寸一致;} \end{cases}$$

$$S40_m = \begin{cases} 1, & \text{箱组} m \text{为} 40 \text{尺;} \\ 0, & \text{箱组} m \text{不为} 40 \text{尺;} \end{cases}$$

$$lp_{jq} = \begin{cases} 0, & \text{箱区} i \text{内第} j \text{贝第} q \text{排的箱组与第} q-1 \text{排的箱组属于同一个卸货港;} \\ 1, & \text{箱区} i \text{内第} j \text{贝第} q \text{排的箱组与第} q-1 \text{排的箱组属于同一个卸货港;} \end{cases}$$

目标函数：

$$\text{Min}(\sum_{i \in Q_all} \sum_{m=1}^{CG_i} BP_{im} * L_{iBFCG_{im}BPCG_{im}} + \sum_{i \in Q_all} \sum_{m=1}^{CG_i} MT_{ijm} * MT_{iq(m+1)} * Lp_{ijq}), j \in Bvall_{iv}, q \in Bvall_{iv}$$

约束条件：

$$\sum_{i \in Q_all} \sum_{j \in Bvall_i} \sum_{k=2}^{Row_j} Size_{ijk} = 0$$

$S40_m * MT_{ijm} * MT_{iqm} * |B_{ij} - B_{iq}| = 2$, 其中 $i \in Q_all_v, j \in Bvall_i, m \in CG_{all}$

$$\sum_{q=2}^{Row_j} lp_{ijq} = 0, \text{其中}, i \in Q_all, j \in Bvall_i;$$

所述贝内排计划中的贝内排分配模型,首先获得各贝内计划的箱组数;然后将计划在各贝内的箱组按箱组号从小到大的顺序排序;最后按箱组号从小到大的顺序将箱组计划在贝内靠近车道的排到远离车道的排;其主要由以下部分组成:

决策函数:

CG_{ijq} : 箱区 i 内第 j 贝第 q 排的箱组;

CT_{ij} : 箱区 i 内第 j 贝的箱组集合;

GN_{ijq} : 箱区 i 内第 j 贝第 q 排的箱组数;

决策变量:

$NO_{CG_{ijq}}$: 箱区 i 内第 j 贝第 q 排的箱组的箱组号;

目标函数:

$$\text{Min} \sum_{q=2}^{Row_j} |NO_{CG_{ijq}} - NO_{CG_{ij(q-1)}}|, \text{其中 } i \in Q_all, j \in Bvall_i$$

约束条件:

$\forall q \in Row_i, NO_{CG_{ijq}} \geq NO_{CG_{ij(q+1)}}$, 其中 $i \in Q_all, j \in Bvall_i$

$\forall q \in Row_i, CG_{ijq} \subset CT_{ij}$, 其中 $i \in Q_all, j \in Bvall_i$

$\forall q \in Row_i, GN_{ijq} = 1$, 其中 $i \in Q_all, j \in Bvall_i$;

所述第一级分配策略的选位模型采用基于规则的决策方法,所述规则为,

(1) 优先选择该集港箱所属箱组的计划排未堆满的计划贝,且该贝应该是作业场桥到达时间较短的贝;

(2) 在堆存贝确定后,优先选择已有该箱组堆存且仍有空箱位的排进行堆存;若该贝内已有该组集装箱堆存的排已堆满或该贝内还未有该箱组的集装箱堆存,则应随机选择一个该箱组的计划排中未堆存集装箱的排作为其堆存排;

所述决策方法为

第一步:确定当前集港箱所属的箱组;

第二步:搜索该箱组的计划区、贝、排;

第三步:判断该箱组计划排内是否已堆存满;如果没有堆存满,则执行第四步,否则执行第五步;

第四步:在该箱组没堆存满的排内随机选择一排作为该集港箱的堆存排,其堆存位置

在该排现有堆存箱最上层的上方,进行堆存直至堆存满;

第五步:执行混堆策略的选位模型或新开贝;

所述混堆模型包括新开贝选位模型和混堆策略的选位模型,所述新开贝选位模型主要由以下部分组成:

决策函数:

B_{lp} : 当前集港箱所属港口计划贝的集合;

S_{cu} : 当前集港箱的尺寸;

B_{nb_j} : 新开的贝;

B_j : 已经计划的贝;

$L_{-B_j-B_{nb_j}}$: 新开贝和原计划贝之间的距离;

目标函数:

$Min(L_{-B_1-B_{nb_1}}, \dots, L_{-B_j-B_{nb_j}}, \dots, L_{-B_n-B_{nb_n}}, \dots, L_{-B_j-B_{nb_j}}, \dots, L_{-B_n-B_{nb_n}})$, 其

中 $B_j \in B_{lp}$

约束条件:

$B_{nb_j} \in NB_i$

$S_{cu} = Size_{nb_j}$

$OP_{nb_j} * (S_{nb_j} - Ead_{nb_j}) * (E_{nb_j} - Sad_{nb_j}) > 0$; 其中

$$OP_{nb_j} = \begin{cases} 1; & \text{新开的贝与相邻贝不属于同一条作业线;} \\ 0; & \text{新开的贝与相邻贝属于同一条作业线;} \end{cases}。$$

2. 根据权利要求1所述的集装箱码头出口箱堆场自动分配方法,其特征在于,所述混堆策略的选位模型的规则为如果混吨级,则应遵循重压轻原则;如果混港,则应遵循远压近原则,即远的卸货港出口箱应混合到近的卸货港中,且远卸货港出口箱应靠近车道,近卸货港出口箱应远离车道;如果混船,则应遵循逊先压后的原则,即先装船的出口箱应靠近车道,后装船出口箱应远离车道;其主要由以下部分组成:

决策函数:

B_{cui} : 当前集港箱所属箱组的箱区 i 内计划贝集合;

NA_j : 计划贝 j 中预计集港的箱量;

NO_{cuj} : 当前集港箱来港时该箱组所在的计划贝 j 内的箱总数;

QEP: 所有已计划和已堆存的出口箱箱区;

BEP_i : 箱区 i 中所有已计划和已堆存的出口箱贝;

$Size_j$: 当前集港箱所属船舶计划贝 j 的计划尺寸;

TN: 当前集港箱所选贝的后续箱的吨级数;

PN_t : 贝内吨级为 t 的箱子的预测值;该值由班轮出口箱吨级分布统计资料等决定,
 $t \in [1, TN]$;

OCB_k : 船舶计划贝内已存在的箱量;

Ncu : 当前集港箱的后续箱预计的个数;

t_m : 贝内当前集港箱后第 m 个后续箱的吨级, $t_m \in [1, TN]$;

Noc_{mt} : 当前集港箱后第 m 个后续箱到港时, 贝内吨级为第 t 级的箱量;

Noc_m : 当前集港箱后第 m 个后续箱到港时, 贝内已有的箱量;

P_{mt} : 当前集港箱后第 m 个后续箱为吨级第 t 级的概率; $P_{mt} = (PN_t - Noc_{mt}) / (NA_j - Noc_m)$

Yct_{Ncu} : 最后一个后续箱选位后造成的压箱个数;

tir_{cu} : 当前集港箱所选位的层;

RS_{cu} : 当前集港箱选位后造成的贝内压箱个数, 取决于排内重吨级箱上方轻吨级箱的数量;

OC_{ijk} : 箱区 i 的第 j 贝第 k 排第 c 层是否存在集装箱, 存在为 1, 不存在为 0;

决策参数

$$MT_{cuijk} = \begin{cases} 1, & \text{当前集港箱选择箱区 } i \text{ 的第 } j \text{ 贝第 } k \text{ 排;} \\ 0, & \text{当前集港箱未选择箱区 } i \text{ 的第 } j \text{ 贝第 } k \text{ 排;} \end{cases}$$

$$MT_{mijk} = \begin{cases} 1, & \text{当前集港箱的第 } m \text{ 个后续箱选择箱区 } i \text{ 的第 } j \text{ 贝第 } k \text{ 排;} \\ 0, & \text{当前集港箱的第 } m \text{ 个后续箱未选择箱区 } i \text{ 的第 } j \text{ 贝第 } k \text{ 排;} \end{cases}$$

目标函数:

$f_1 = MT_{cuijk} * RS_{cu}$, 其中 $k \in (1, Row_i)$, $j \in BEP_i$, $i \in Q_all_v$

$$f_2 = \sum_{t_1}^{TN} P_{1t_1} * MT_{1ijk} * \left(\sum_{t_2}^{TN} P_{2t_2} * MT_{2ijk} * \left(\dots, \sum_{t_m}^{TN} P_{mt_m} * MT_{mijk} * \left(\dots, \sum_{t_{Ncu}}^{TN} P_{(Ncu)t_{Ncu}} * MT_{(Ncu)ijk} * Yct_{Ncu} \right) \right) \right)$$

其中 $k \in (1, Row_i)$, $j \in BEP_i$, $i \in Q_all_v$

$\text{Min}(f_1 + f_2)$

约束条件:

如果 $\exists j \in B_{cui}, 0 \leq NO_{cuj} \leq Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1) - 1$, 则 $\sum_{i \in Q_all} \sum_{j \in B_{cui}} \sum_{k=1}^{Row_i} MT_{cuijk} = 1$

如果 $NO_{cuj} = Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)$, 以及 $OCB_k < Bvall_i * (Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1))$, 同时

$\exists j \in Bvall_i, i \in Q_all_v$, 其中 $\sum_{c=1}^{Tier_i} OC_{ijk} = 0$, 则 $\sum_{i \in Q_all} \sum_{j \in Bvall_i} \sum_{k=1}^{Row_i} MT_{cuijk} = 1$

如果 $NO_{cuj} = Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)$, 以及 $OCB_k < Bvall_i * (Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1))$, 则

$$\sum_{i \in Q_all} \sum_{j \in Bvall_i} \sum_{k=1}^{Row_i} MT_{cuijk} = 1$$

如果 $OCB_k = Bvall_i * (Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1))$, 同时 $\exists i \in QEP, j \in BEP_i, j \notin Bvall_i$, 其中

$\sum_{c=1}^{Tier_i} OC_{ijk} = 0$, 则 $\sum_{i \in QEP} \sum_{j \in BEP_i} \sum_{k=1}^{Row_i} MT_{cuijk} = 1$

如果 $OCB_k = Bvall_i * (Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1))$, 同时 $\exists i \in QEP, j \in BEP_i, j \notin Bvall_i$ 其中

$$\sum_{k=1}^{Row_i} \sum_{c=1}^{Tier_i} OC_{ijk} \leq Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1), \text{ 则 } \sum_{i \in QEP} \sum_{j \in BEP_i} \sum_{k=1}^{Row_i} MT_{cuijk} = 1$$

$$\sum_{c=1}^{tir_{cu}-1} OC_{ijkc} = tir_{cu} - 1, \text{其中 } i \in Q_all, j \in B_{cui}, k \in (1, Row_i)$$

如果, $NO_{cuj} = Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)$, 则 $S_{cu} = Size_j$, 其中 $j \in B_{cui}$ 。

3. 根据权利要求 1 所述的集装箱码头出口箱堆场自动分配方法, 其特征在于, 所述方法中还建立基于双 40 尺的出口箱堆场分配模型。

4. 根据权利要求 3 所述的集装箱码头出口箱堆场自动分配方法, 其特征在于, 所述基于双 40 尺的出口箱堆场分配模型的作业规则, 属于同一尺寸、同一船舶、同一港口及同一吨级的集装箱在一个贝中计划两排或偶数排; 对于 20 尺的集装箱应按两个相邻贝为一个单位计划, 以方便 4 个 20 尺的集装箱同时被存取。

集装箱码头出口箱堆场自动分配方法

技术领域：

[0001] 本发明涉及一种集装箱码头的出口箱堆场的分配方法，特别涉及一种集装箱码头出口箱堆场分配模型的建立。

背景技术：

[0002] 随着经济全球化进程的加快，越来越多的生产经营活动和资源配置过程在整个世界范围内进行，现代港口在社会经济发展中的作用与地位也由此发生了深刻的变化，成为一个国家经济能否有效地参与经济全球化并保持在国际竞争中主导地位的重要依托。

[0003] 港口作为物流系统中的重要节点，是远洋、内河船舶以及内陆运输（卡车和火车）的枢纽。港口地区汇集有货主、货运代理、船东、船舶代理、商品批发零售、包装公司、陆上运输公司、海关、商检等各种机构。港口不仅是不同运输方式汇集的关键节点，而且也是各种信息、经济和技术的汇集点。现代集装箱码头已从纯粹的运输中心（运输+转运+存储）发展为配送中心（运输+转运+存储+拆装箱+仓储管理+加工），再发展为如今的综合物流中心（运输+转运+存储+拆装箱+仓储管理+加工+信息处理）。现在集装箱码头已经成为一个集商品流、资金流、技术流、信息流、人才流于一体物流中心。

[0004] 凭借规模化的集散能力，集装箱码头最有可能成为整个物流链的枢纽和增值服务中心。集装箱码头物流是海洋运输的起点与终点，是海陆货物运输的重要节点，在整个运输链中是货物最大的集散地。集装箱码头是国际贸易中的服务基地和货物物流的分配中心，是货物和航运业的信息中心。集装箱码头地理位置得天独厚，通常位于经济、贸易、金融、信息较为发达的城市，为综合物流的大量生成与发展提供了有利支撑。

[0005] 近年来，我国集装箱码头伴随着集装箱运量的增加，其吞吐量也得到了较快地增长，取得了骄人的成绩，但其生产组织技术与吞吐量增加的矛盾日益突出，主要表现如下：

[0006] (1). 码头通过能力不足。由于土地资源越来越昂贵，码头不可能无限制的扩大占地面积，因此在现有的码头土地规模下，随着集装箱运量的日益增加，其设计的通过能力就显得愈发不足。

[0007] (2). 堆场管理水平较低。我国集装箱码头堆场管理大部分还是属于经验管理，但随着码头吞吐量的增加和到港船舶数量的增加，以及到港船舶的大型化趋势，以前的经验管理方式许多已不适用。

[0008] (3). 码头装卸成本较高。由于我国集装箱码头基本上还是靠人工管理，集装箱在堆场中的位置并不是最佳，且设备调度可能不合理，从而导致集装箱装卸作业时，设备移动距离较长，翻箱率较高，从而导致了码头装卸成本较高。

[0009] (4). 计算机自动决策水平较低。我国集装箱码头中堆场计划、道口选位、船舶配载、作业线调度等需要决策的功能基本都是靠人工来完成的，计算机在其中只起到了辅助管理的作用，这在吞吐量较低，来港船舶的较少的情况下，还能适应，但随着吞吐量和来港船舶的增加，以及港船舶的大型化趋势下，再用人工方式将可能导致决策时间较长、决策结果不佳等问题，从而造成船舶在港时间较长，码头服务质量不高等问题。

[0010] 集装箱码头堆场由多个箱区组成(如箱区 A, 箱区 B 等), 每个箱区内通常有多个贝位, 其平面布局如图 1 所示。奇数贝位为 20 英尺倍, 相邻的 2 个 20 英尺倍可组倍为偶数倍以堆存 40 英尺集装箱, 每个倍位可堆垛 6 排, 每排最大堆高为 4 层。每个集装箱堆存箱位可用“箱区—贝位—排—层”唯一标识。如图 2 所示。

[0011] 集装箱堆场作业涉及到出口箱集港、出口箱装船、进口箱卸船、进口箱提箱等业务。其中出口箱在相应船舶到港前 4 天开始集港, 由外部集卡将集装箱分散运进堆场, 到港前 6 小时停止集港, 以便根据集装箱在场信息进行船舶配载和制定装船计划。装船时, 通过场地机械(场桥)将出口箱装上水平运输机械, 再经过水平运输机械运输至码头前沿, 再由岸边集装箱起重机(岸桥)将出口箱装进船舶。进口箱在船舶到港后, 由岸桥将其卸至水平运输机械, 再由水平运输机械运进堆场, 由场桥将其堆存在具体的箱位, 客户可在一定的期限内(一般为 7 天), 通过外部集卡提箱出场。

[0012] 集装箱堆场作为衔接海运系统和内陆系统的物理缓冲区域, 对合理安排装卸船舶计划, 减少装卸船时间具有重要的意义。但限于空间和资金等条件, 堆场对于码头来说是稀缺资源。而近年来不断增加的集装箱货流量给码头堆场系统的管理提出了更高的要求。因此, 如何对码头堆场有效地分配和管理, 进而提高码头服务水平和装卸效率已成为码头管理者和学术界广泛关心的问题。

[0013] 从堆场的主要业务可以看出, 进口箱是集中进场, 分散提箱, 这样对于进口箱的堆场分配, 由于其信息准确, 且对于进口箱提箱出场没有严格的时间限制, 所以其堆场作业也相对简单。而出口箱是分散进场, 集中装船, 对于出口箱的堆场分配, 由于相应船舶还未到达, 其相关信息不够准确, 且装船时有严格的时间限制和空间限制, 所以合理的出口箱的堆场分配难度较大。因此本文将出口箱的堆场分配为研究核心。

[0014] 出口箱堆场分配决策是出口箱业务中最基础和核心的环节。合理的出口箱堆场分配将为装船时设备的调度、船舶配载奠定良好的基础, 相反, 出口箱的无序堆存将为设备调度带来很大困难。特别是双 40 英尺装卸设备的出现, 要如何提高能够双 40 作业的比例, 给出口箱堆场分配带来了更大的难度。

[0015] 内陆承运商通常会在船舶抵港前一段时间将出口箱提交码头, 在船舶离开码头一段时间后才将进口箱拖离码头, 因此集装箱堆场实际上是船舶装卸作业和内陆集港、提箱作业的一个缓冲区。堆场系统资源的优化配置直接关系到该系统得的作业效率。影响堆场空间分配的因素包括: 船舶停靠的位置、装卸箱量、作业线的分布、挂靠港的数量、吨级数量等。堆场空间分配包括两个层次: ①堆场箱区的分配, ②具体箱位的选择。过去的研究多集中在第一个层次, 采用的优化方法主要包括整数规划、动态规划、二次规划等数学规划技术, 但由于求解算法的规模限制, 这些方法经常遇到困难, 同时对于具体箱位分配的优化研究较少, 导致翻箱率始终不能有效地降低。另外针对双四十集装箱运输的堆场分配策略研究目前为零。

[0016] 堆场分配主要因进口箱卸船和出口箱集港而发生。下面主要分析有关这 2 种堆场分配的相关研究成果。

[0017] (1) 进口箱堆场分配

[0018] 进口箱卸船作业是船舶到达事件引起的, 此时集装箱批量到达, 堆场空间资源分配问题往往和堆场设备资源的调度交织在一起。优化的目标大多集中在高的堆场利用率、

少的卸船（船舶在港）时间和高的机械作业效率。解决该问题时，需要考虑以下几个方面：

[0019] ①船舶达到规律和需要卸载的集装箱的相关特征：

[0020] ②堆场空间的制约；

[0021] ③外卡随机提取进口箱时的期望倒箱数。

[0022] (2) 出口箱堆场分配

[0023] 外卡进箱作业的发生是一系列离散随机事件，时间跨度是预定班次班轮到港一前的载入期，该作业的最终目的是为集装箱出口装船作准备，优化的目标包括高的堆场利用率、少的预期后续装船时间、低的后续装船作业时的翻倒率，需要考虑的是堆场作业原则。

[0024] (3) 堆场分配的综合研究

[0025] 当前在众多的优化算法中，遗传算法 GA、禁忌搜索法 TS、模拟退火算法 SA 和启发式方法得到越来越多的关注。遗传算法 GA、禁忌搜索法 TS、模拟退火算法 SA 与启发式算法相结合也受到了许多学者的研究。

[0026] 遗传算法是基于适者生存的一类高度并行、随机和自适应优化算法，它的优越性主要表现为：具有固有的并行性，通过对种群的遗传处理可处理大量的模式，容易并行实现；算法进行全空间并行搜索时，将搜索重点集中于性能高的部分，从而提高效率且不易陷入局部极小。近年来，在解决 NP-hard 问题上，得到了广泛的应用，但在避免早熟收敛方面还有待深入研究。

[0027] 禁忌搜索算法是对局部邻域搜索的一种扩展，是人类智力过程的一种模拟，是一种全局逐步寻优算法。它一方面沿用局部邻域搜索的思想，用于实现邻域搜索，另一方面通过引入一个灵活的存储结构和相应的禁忌准则来设置禁忌表和禁忌对象，并对已搜索到的局部最优解的一些对象进行标记，以便在进一步的迭代搜索中尽量避开这些对象，从而体现算法避免迂回搜索的特点，并保证对不同的有效搜索途径的探索。它的主要特点是：搜索过程中可接受劣解，因此具有较强的“爬山”能力，选取优良解的概率远远大于其他解。但禁忌搜索法效率较低，提高效率仍然是其面临的主要课题。

[0028] 模拟退火算法是基于 Monte Carlo 迭代求解的一种通用随机寻优算法，它基于物理中固体物质的退火过程与一般组合优化问题之间的相似性，通过设定初温和初态，伴随温度的不断下降，结合概率突跳特性，在解空间中通过邻域函数进行随机搜索，最终得到全局最优。其概率性劣向转移使得算法具有跳出局部极小而实现全局最优的能力，但在提高效率方面还有待进一步研究。

[0029] 目前在大规模组合优化问题求解方面，还有很多学者采取降低问题维数的启发式算法，这些启发式算法采用的基本方法一般有：分解问题、多目标函数转变为单目标函数、降低可行解规模等。

[0030] 从以上分析可以看出，各种优化算法都有其优缺点，因此可以根据具体问题，选取不同的算法，或吸取不同算法的优点，采用混合算法，对问题进行求解。

发明内容：

[0031] 本发明针对上述现有技术中所存在的问题和需要解决的问题，而提供一种能够很好降低码头装卸成本，提高服务质量的集装箱码头出口箱堆场分配模方法。

[0032] 为了达到上述目的，本发明所涉及的集装箱码头出口箱堆场自动分配方法，其包

括以下步骤：首先为各船的出口箱分配箱区，然后为各船的出口箱各箱组计划箱位，最后为具体的出口箱选择箱位。

[0033] 所述方法中还建立基于双 40 尺的出口箱堆场分配模型。

[0034] 所述为各船的出口箱分配箱区首先给各船分配集港箱区段，然后通过决策模型决策各船出口箱堆存区段。

[0035] 所述各船对应区段数的确定方法：

[0036] (1) 若装船时每个区段配备 1 台轮胎吊，则一个作业线分配两个堆场箱区；由于装船时只要一个箱区内只有 1 台轮胎吊，一个堆场区段只允许对应某船舶的 1 条作业线，堆场箱区数为作业线数的 2 倍；

[0037] (2). 若堆存箱区数不足，则可计划最接近 2 倍作业线的箱区，然后将计划的每个箱区分成两部分，两部分之间至少隔开一个大贝，这样可以保证同一箱区内如果有两台场桥能够同时作业。

[0038] 所述决策模型包括以下部分：

[0039] 决策函数：

[0040] TP: 决策周期需要预做堆存计划的时段；决策周期为 4 天, 12 个小时为一个计划时段, $TP = 8$, 每个计划时段用 t 表示, 每次只有 $t=1$ 的计划时段的决策被执行；

[0041] NA: 普通箱区数；

[0042] P: 当前决策周期(每个决策周期开始时更新当前决策周期为 P)；

[0043] VP_t : 决策周期 P 内计划时段 t 预做堆存计划的船舶集合；

[0044] VP_{jt} : 当前决策周期 P 内的计划时段 t 内的船舶 j ；

[0045] NVP_{ti} : 计划时段 t 内区段 i 中已有船舶或已计划船舶的集合；

[0046] B_{jt} : 船 VP_{jt} 的预靠泊位(由于船舶要到港后才靠泊, 所以出口箱集港时船舶泊位只能是预考泊位, 且当前集装箱码头所靠船舶一般为班轮, 班轮所靠泊位一般都是固定的, 所以预靠泊位一般与实际靠泊泊位是一致的) 位置, 以船舶的中心位置为准；

[0047] d_{ijt} : 堆场区段 i 与计划时段 t 内船舶 j 预靠泊位之间的距离(平均距离, 参考点为连续泊位的中部, 且考虑港口内交通布局及区段到泊位的行驶路径等)；

[0048] $N_{20_{jt}}$: 计划时段 t 内的船舶 j 出口箱普通 20 尺的数量；

[0049] $N_{40_{jt}}$: 计划时段 t 内的船舶 j 出口箱普通 40 尺的数量；

[0050] Row_i : 箱区 i 内允许堆放的排数；

[0051] $Tier_i$: 箱区 i 内允许堆放的层数；

[0052] OPL_j : 船舶 j 装船时预计的作业线数；

[0053] K_{jt} : 计划时段 t 内的船舶 j 处于集港的第几个时段(每条船集港分 8 个时段)；

[0054] STH_{it} : 计划时段 t 时箱区 i 内所有船舶的作业(装船或卸船) 开始时间集合(包括已有船舶和已计划船舶), $STH_{it} = \{STH_{it1}, STH_{it2}, \dots, STH_{itn}\}$ ；

[0055] ETH_{it} : 计划时段 t 时箱区 i 内所有船舶的作业(装船或卸船) 结束时间集合(包括已有船舶和已计划船舶), $ETH_{it} = \{ETH_{it1}, ETH_{it2}, \dots, ETH_{itn}\}$ ；

[0056] ST_{tj} : 计划时段 t 内的船舶 j 的装船开始时间；

[0057] ET_{tj} : 计划时段 t 内的船舶 j 的装船结束时间；

[0058] $N_{20_{jtk}}$: 计划时段 t 之前的时段 k 内船舶 j 计划到箱区 i 的 20 尺出口箱箱量；

[0059] $N_{40_{ijt}}$: 计划时段 t 之前的时段 k 内船舶 j 计划到箱区 i 的 40 尺出口箱箱量;

[0060] $NU_{i(t-1)}$: 当前决策周期的 $t-1$ 时段末时, 区段 i 的空贝数(根据船舶的离港时间和提箱的统计规律预测);

[0061] $NUB_{i(t-1)}$: 当前决策周期的 $t-1$ 时段末时, 区段 i 的空大贝数(根据船舶的离港时间和提箱的统计规律预测), 大贝为一个箱区中连续相邻的两个贝组合而成, 空大贝即为箱区中连续相邻的两个空贝组成;

[0062] λ : 宽泛系数(选择箱区时, 箱区的空位数应不小于分到该箱区的箱量乘以宽泛系数);

[0063] N_{large_0} : N_{large_0} 为较大的正实数, 一般可设 $N_{large_0}=1000$, 若 $N_{20_{jt}}+2*N_{40_{jt}} > N_{large_0}$ 表明船舶 VP_{jt} 的出口箱量较多;

[0064] N_{small_0} : N_{small_0} 为较小的正实数, 一般可设 $N_{small_0}=200$, 若 $N_{20_{jt}}+2*N_{40_{jt}} < N_{small_0}$ 表明船舶 VP_{jt} 的出口箱量较少;

[0065] 决策参数:

[0066] $AL_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{区段 } i \text{ 在计划时段 } t \text{ 内分配给船舶 } VP_{jt} \\ 0, & \text{区段 } i \text{ 在计划时段 } t \text{ 内未分配给船舶 } VP_{jt} \end{cases}$, 一旦确定了集港堆存区段, 在集

港过程中, 相应的集装箱将堆存在该区段, 其中 $1 \leq i \leq NA$, $VP_{jt} \in VP_t$

[0067]

$$HAL_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{区段 } i \text{ 在计划时段 } t \text{ 之前的时段 } k \text{ 内分配给船舶 } VP_{jt} \\ 0, & \text{区段 } i \text{ 在计划时段 } t \text{ 之前的时段 } k \text{ 内未分配给船舶 } VP_{jt} \end{cases}$$

[0068] $N_{20_{ijt}}$: 计划时段 t 内船舶 j 计划到箱区 i 的 20 尺出口箱箱量;

[0069] $N_{40_{ijt}}$: 计划时段 t 内船舶 j 计划到箱区 i 的 40 尺出口箱箱量;

[0070] 目标函数:

[0071] $f_1 = \text{Min} \sum_{t=1}^{TP} \sum_{j \in VP_t} \sum_{i=1}^{NA} (N_{20_{ijt}} + N_{40_{ijt}}) * AL_{ijt} * d_{ijt}$

[0072]

$$\forall j \in VP_t, f_2 = \text{Min} \left\{ \text{Max}_{\{i\}} \left[\sum_{k=1}^{K_{jt}} [(N_{20_{jtk}} + 2 * N_{40_{jtk}}) * HAL_{jtk}] + \sum_{t=1}^{s-K_{jt}} [(N_{20_{jrt}} + 2 * N_{40_{jrt}}) * AL_{jrt}] \right] - \right.$$

[0073] $\left. \text{Min}_{\{i\}} \left[\sum_{k=1}^{K_{jt}} [(N_{20_{jtk}} + 2 * N_{40_{jtk}}) * HAL_{jtk}] + \sum_{t=1}^{s-K_{jt}} [(N_{20_{jrt}} + 2 * N_{40_{jrt}}) * AL_{jrt}] \right] \right\}$

[0074] $f_3 = \text{Min} \left\{ \sum_{t=1}^{TP} \left[\text{Max}_{\{i\}} \left(\sum_{j \in VP_t} (N_{20_{jrt}} + 2 * N_{40_{jrt}}) * AL_{jrt} \right) - \text{Min}_{\{i\}} \left(\sum_{j \in VP_t} (N_{20_{jrt}} + 2 * N_{40_{jrt}}) * AL_{jrt} \right) \right] \right\}$

[0075] 构建多目标规划: $\text{Min} \{ \omega_1 * f_1, \omega_2 * f_2, \omega_3 * f_3 \}$

[0076] 约束条件:

[0077] $t \in TP, j \in VP_t$

[0078] $N_{20_{jt}} = \sum_{i=1}^{NA} AL_{ijt} * N_{20_{ijt}}$

[0079] $N_{40_{jt}} = \sum_{i=1}^{NA} AL_{ijt} * N_{40_{ijt}}$

$$[0080] \quad \text{Min} \left| \sum_{k=1}^{K_{jt}} \sum_{i=1}^{NA} HAL_{ijt_k} + \sum_{i=1}^{8-K_{jt}} \sum_{i=1}^{NA} AL_{ijt} - 2 * OPL_{jt} \right|$$

[0081]

$$\forall t = (1, 2, \dots, 8), \lambda * \left(\sum_{j \in VP_t} N20_{jt} + 2 * \sum_{j \in VP_t} N40_{jt} \right) \leq \sum_{i=1}^{NA} AL_{ijt} * NU_{i(t-1)} * [Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)] ,$$

其中

[0082] 只要 $\exists j \in VP_t$, 使得 $AL_{ijt} = 1$, 即可

$$[0083] \quad \forall t = (1, 2, \dots, 8), \lambda * \sum_{j \in VP_t} N40_{jt} \leq \sum_{i=1}^{NA} AL_{ijt} * NUB_{i(t-1)} * [Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)]$$

$$[0084] \quad \forall m \in NVP_{jt}, AL_{ijt} * [STH_{mt} - ET_{jt}] * [ETH_{mt} - ST_{jt}] > 0$$

[0085] 对于 $VP_{xt}, VP_{yt} \in VP_t$, 若 $N20_{xt} + 2 * N40_{xt} > N_{large_0}$ 且 $N20_{yt} + 2 * N40_{yt} > N_{large_0}$, 则: $AL_{ixt}, AL_{iyt} = 0, 1 \leq i \leq NA$ 。

[0086] 所述为各船的出口箱各箱组计划箱位, 需要根据当前时段内为每条船分配箱区的实际情况, 决策各船在各箱区的贝计划, 各船各卸货港在不同箱区的分布计划, 贝与箱组匹配计划, 贝内排计划。

[0087] 所述贝计划中的贝分配模型由以下部分组成:

[0088] 决策函数:

[0089] Q_{all_v} : 当前时段分配给船舶 v 的出口箱区集合;

[0090] NB_i : 箱区 i 内空贝的集合; 贝分配时只能分配空的贝 (空贝是指当该船的出口箱集港时, 该贝是空的, 且未计划给别的船);

[0091] L_{ijk} : 箱区 i 内第 j 贝和第 k 贝之间的距离;

[0092] Dis : 一个贝的宽度;

[0093] $N40_{iv}$: 箱区 i 内计划船 v 的 40 尺的箱量;

[0094] $N20_{iv}$: 箱区 i 内计划船 v 的 20 尺的箱量;

[0095] Row_i : 箱区 i 内允许堆放的排数;

[0096] $Tier_i$: 箱区 i 内允许堆放的层数;

[0097] Bno_j : 箱区 i 内第 j 贝的贝号;

[0098] $Blsn_{iv}$: 箱区 i 内分配给船舶 v 的左边界贝的贝号;

[0099] $Bren_{iv}$: 箱区 i 内分配给船舶 v 的右边界贝的贝号;

[0100] $Bblsn_{iv}$: 箱区 i 内之前分配给船舶 v 的左边界贝的贝号;

[0101] $Bbren_{iv}$: 箱区 i 内之前分配给船舶 v 的右边界贝的贝号;

[0102] $Bvall_{iv}$: 箱区 i 内分配给船舶 v 的贝集合;

[0103] OP_{ij} : 判断箱区 i 内第 j 贝与其相邻贝是否属于同一条作业线;

[0104] $Badn_{iv}$: 箱区 i 中给船 v 计划的贝中连续贝的块集合, 块为一个箱区中连续相邻的几个贝组合而成;

[0105] Bn_{biv} : 箱区 i 中给船 v 计划的块 b 的贝数;

[0106] Sad_{ij} : 箱区 i 内第 j 贝相邻贝的作业开始时间; (指装船或卸船的开始时间)

[0107] Ead_{ij} : 箱区 i 内第 j 贝相邻贝的作业结束时间; (指装船或卸船的开始时间)

[0108] S_{ij} : 箱区 i 内第 j 贝的装船开始时间;

[0109] E_{ij} : 箱区 i 内第 j 贝的装船结束时间;

[0110] λ : 贝分配时的宽泛系数;

[0111] 决策变量:

[0112]

$$F_{jv} = \begin{cases} 1, & \text{箱区 } i \text{ 的第 } j \text{ 贝作为船 } v \text{ 集港箱的计划贝;} \\ 0, & \text{箱区 } i \text{ 的第 } j \text{ 贝不作为船 } v \text{ 集港箱的计划贝;} \end{cases}$$

[0113]

$$BP_{iv} = \begin{cases} 1, & \text{箱区 } i \text{ 内之前已经计划过船 } v \text{ 的贝;} \\ 0, & \text{箱区 } i \text{ 内之前没有计划过船 } v \text{ 的贝;} \end{cases}$$

[0114] 目标函数:

$$[0115] \quad f_1 = \text{Min} \sum_{v \in VP_1} \sum_{i \in Q_all_v} \sum_{j \in NB_i, k \in NB_i} F_{jv} * F_{kv} * L_{ijk}$$

$$[0116] \quad f_2 = \text{Min} \sum_{v \in VP_1} \sum_{i \in Q_all_v} \left(BP_{iv} * \left[\text{Max}(|Blsn_{iv} - Bbren_{iv}|, |Brsn_{iv} - Bblen_{iv}|) / 2 + 1 \right] * Dis \right)$$

$$[0117] \quad \text{Min}(\omega_1 * f_1 + \omega_2 * f_2)$$

[0118] 约束条件:

$$[0119] \quad i \in Q_all_v, j \in NB_i, v \in VP_1$$

$$[0120] \quad \forall i \in Q_all_v, v \in VP_1, \sum_{j \in NB_i} F_{jv} * (Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)) = \lambda * (N20_v + 2 * N40_v)$$

$$[0121] \quad \forall v \in VP_1, i \in Q_all_v, \sum_{j \in [Blsn_{iv} + 2, Bbren_{iv} - 2]} ((1 - F_{jv}) * (1 - F_{i(j+1)v})) = 1$$

$$[0122] \quad \forall v \in VP_1, i \in Q_all_v, j \in Bvall_{iv}, OP_{ij} * (S_{ij} - Ead_{ij}) * (E_{ij} - Sad_{ij}) \geq 0; \text{其中}$$

[0123]

$$OP_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{箱区 } i \text{ 内第 } j \text{ 贝与相邻贝不属于同一条作业线;} \\ 0, & \text{箱区 } i \text{ 内第 } j \text{ 贝与相邻贝属于同一条作业线;} \end{cases}$$

[0124]

$$\forall i \in Q_all_v, v \in VP_1, \sum_{b \in Badn_{iv}} [Bn_{biv} / 2] * [Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)] \geq \lambda * N40_v$$

$$[0125] \quad Badn_{iv} = Bvall_{iv}$$

$$[0126] \quad \lambda > 1$$

$$[0127] \quad L_{ijk} > 0, Dis > 0。$$

[0128] 所述各船各卸货港在不同箱区的分布计划中的卸货港分配模型保证并行发箱,一个是保证不同作业线可以同时发箱,另一个是保证同一条作业线可以并行发箱,即同一个港口的应计划在不同的区段;其主要包括以下部分:

[0129] 决策函数:

[0130] Q_all_b : 当前计划之前已经分配给船舶的出口箱区集合;

[0131] $Q_bh_Lp_p$: 船舶的卸货港 p 前 50% 箱子所在的箱区;

[0132] $Q_ah_Lp_p$: 船舶的卸货港 p 后 50% 箱子计划的箱区;

[0133] LP_{all} : 船舶的所有卸货港的集合;

- [0134] LPO_i : 船舶的在箱区 i 内已存在卸货港的集合 ;
 [0135] LPP_i : 船舶的在箱区 i 内当天计划卸货港的集合 ;
 [0136] Lp_p : 船舶的卸货港 p , p 按照挂靠港先后顺序排列 ;
 [0137] 决策参数 :
 [0138]

$$SLP_p = \begin{cases} 1, & \text{对于当天的计划, 如果卸货港 } p \text{ 计划在两个或以上的箱区;} \\ 0, & \text{对于当天的计划, 如果卸货港 } p \text{ 计划在一个箱区;} \end{cases}$$

[0139]

$$LP_{pi} = \begin{cases} 1, & \text{卸货港 } p \text{ 分布在箱区 } i \text{ 中;} \\ 0, & \text{卸货港 } p \text{ 未分布在箱区 } i \text{ 中;} \end{cases}$$

[0140] 目标函数 :

$$[0141] \quad \text{Min} \sum_{p \in LP_{all}} SLP_p$$

[0142] 约束条件 :

[0143] 如果 $Q_all \cap Q_all_b \neq \emptyset$, 则 $LPO_i \cap LPP_i = \emptyset$, 其中 $i \in (Q_all \cap Q_all_b)$

[0144] $Q_bh_Lp_p \cap Q_ah_Lp_p = \emptyset$, 其中 $Lp_p \in LP_{all}$

$$[0145] \quad \sum_{p \in LP_{all}} LP_{pi} * LP_{(p-1)i} * |p - (p-1)| + 1 = \sum_{p \in LP_{all}} LP_{pi} \circ$$

[0146] 所述贝与箱组匹配计划中的贝与箱组匹配模型将同一尺寸、同一船舶、同一卸货港、同一吨级的集港箱为一个箱组, 将船舶的箱组按卸货港由远及近、尺寸 20 和 40、吨级由重及轻进行排序, 并按该序列为箱组编号 ; 其由以下部分组成 :

[0147] 决策函数 :

[0148] CG_{all} : 船舶的出口箱箱组集合 ;

[0149] NO_m : 船舶出口箱的箱组 m 的箱组号 ; 按照箱组排序先后顺序排列编号 ;

[0150] CG_i : 船舶出口箱在箱区 i 内的箱组数 ;

[0151] $BPCG_{im}$: 箱组 m 计划在箱区 i 内的贝 ;

[0152] $BTCG_{im}$: 箱组 m 如果需要跨贝时, 在箱区 i 内跨越的贝 ;

[0153] B_{ij} : 箱区 i 内第 j 贝的贝号 ;

[0154] 决策变量

[0155]

$$MT_{ijm} = \begin{cases} 1, & \text{箱区 } i \text{ 内第 } j \text{ 贝计划给第 } m \text{ 个箱组堆存;} \\ 0, & \text{箱区 } i \text{ 内第 } j \text{ 贝未计划给第 } m \text{ 个箱组堆存;} \end{cases}$$

[0156]

$$BP_{im} = \begin{cases} 1, & \text{箱组 } m \text{ 计划在箱区 } i \text{ 内;} \\ 0, & \text{箱组 } m \text{ 计划未在箱区 } i \text{ 内;} \end{cases}$$

[0157]

$$Size_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{如果箱区 } i \text{ 内第 } j \text{ 贝第 } k \text{ 排与 } k-1 \text{ 排计划的箱组尺寸不一致;} \\ 0, & \text{如果箱区 } i \text{ 内第 } j \text{ 贝第 } k \text{ 排与 } k-1 \text{ 排计划的箱组尺寸一致;} \end{cases}$$

[0158]

$$S40_m = \begin{cases} 1, \text{箱组}m\text{为}40\text{尺;} \\ 0, \text{箱组}m\text{不为}40\text{尺;} \end{cases}$$

[0159]

$$lp_{ijq} = \begin{cases} 0, \text{箱区}i\text{内第}j\text{页第}q\text{排的箱组与第}q-1\text{排的箱组属于同一个卸货港;} \\ 1, \text{箱区}i\text{内第}j\text{页第}q\text{排的箱组与第}q-1\text{排的箱组属于同一个卸货港;} \end{cases}$$

[0160] 目标函数：

$$[0161] \quad \text{Min} \left(\sum_{i \in Q_all} \sum_{m=1}^{CG_i} BP_{im} * L_{iBTCG_{im}BPCG_{im}} + \sum_{i \in Q_all} \sum_{m=1}^{CG_i} MT_{ijm} * MT_{iq(m+1)} * L_{ijq} \right), j \in Bvall_i, q \in Bvall_i$$

[0162] 约束条件：

$$[0163] \quad \sum_{i \in Q_all} \sum_{j \in Bvall_i} \sum_{k=2}^{Row_j} Size_{ijk} = 0$$

$$[0164] \quad S_{m,40} * MT_{ijm} * MT_{iqm} * |B_{ij} - B_{iq}| = 2, \text{其中 } i \in Q_all, j \in Bvall_i, m \in CG_{all}$$

$$[0165] \quad \sum_{q=2}^{Row_j} lp_{ijq} = 0, \text{其中, } i \in Q_all, j \in Bvall_i。$$

[0166] 所述贝内排计划中的贝内排分配模型,首先获得各贝内计划的箱组数;然后将计划在各贝内的箱组按箱组号从小到大的顺序排序;最后按箱组号从小到大的顺序将箱组计划在贝内靠近车道的排到远离车道的排;其主要由以下部分组成:

[0167] 决策函数：

[0168] CG_{ijq} : 箱区 i 内第 j 页第 q 排的箱组；[0169] CT_{ij} : 箱区 i 内第 j 页的箱组集合；[0170] GN_{ijq} : 箱区 i 内第 j 页第 q 排的箱组数；

[0171] 决策变量：

[0172] $NO_{CG_{ijq}}$: 箱区 i 内第 j 页第 q 排的箱组的箱组号；

[0173] 目标函数：

$$[0174] \quad \text{Min} \sum_{q=2}^{Row_j} |NO_{CG_{ijq}} - NO_{CG_{ij(q-1)}}|, \text{其中 } i \in Q_all, j \in Bvall_i$$

[0175] 约束条件：

$$[0176] \quad \forall q \in Row_i, NO_{CG_{ijq}} \geq NO_{CG_{ij(q+1)}}, \text{其中 } i \in Q_all, j \in Bvall_i$$

$$[0177] \quad \forall q \in Row_i, CG_{ijq} \subset CT_{ij}, \text{其中 } i \in Q_all, j \in Bvall_i$$

$$[0178] \quad \forall q \in Row_i, GN_{ijq} = 1, \text{其中 } i \in Q_all, j \in Bvall_i。$$

[0179] 所述具体的出口箱选择箱位中构建出口箱自动选位模型,该模型包括第一级分配策略的选位模型以及混堆模型。

[0180] 所述第一级分配策略的选位模型采用基于规则的决策方法,所述规则为,

[0181] (1) 优先选择该集港箱所属箱组的计划排未堆满的计划贝,且该贝应该是作业场桥到达时间较短的贝；

[0182] (2) 在堆存贝确定后,优先选择已有该箱组堆存且仍有空箱位的排进行堆存;若该贝内已有该组集装箱堆存的排已堆满或该贝内还未有该箱组的集装箱堆存,则应随机选择一个该箱组的计划排中未堆存集装箱的排作为其堆存排；

[0183] 所述决策方法为

[0184] 第一步:确定当前集港箱所属的箱组;

[0185] 第二步:搜索该箱组的计划区、贝、排;

[0186] 第三步:判断该箱组计划排内是否已堆存满;如果没有堆存满,则执行第四步,否则执行第五步;

[0187] 第四步:在该箱组没堆存满的排内随机选择一排作为该集港箱的堆存排,其堆存位置在该排现有堆存箱最上层的上方;

[0188] 第五步:执行下述的混堆策略的选位模型或新开贝。

[0189] 所述混堆模型包括新开贝选位模型和混堆策略的选位模型,所述新开贝选位模型主要由以下部分组成:

[0190] 决策函数:

[0191] B_{lp} : 当前集港箱所属港口计划贝的集合;

[0192] S_{cu} : 当前集港箱的尺寸;

[0193] B_{nb_j} : 新开的贝;

[0194] B_j : 已经计划的贝;

[0195] $L_{B_j - B_{nb_j}}$: 新开贝和原计划贝之间的距离;

[0196] 目标函数:

[0197] $Min(L_{B_1 - B_{nb_1}}, \dots, L_{B_j - B_{nb_j}}, \dots, L_{B_n - B_{nb_n}}, \dots, L_{B_j - B_{nb_j}}, \dots, L_{B_n - B_{nb_n}})$,

其中

[0198] $B_j \in B_{lp}$

[0199] 约束条件:

[0200] $B_{nb_j} \in NB_i$

[0201] $S_{cu} = Size_{nb_j}$

[0202] $OP_{nb_j} * (S_{nb_j} - Ead_{nb_j}) * (E_{nb_j} - Sad_{nb_j}) > 0$; 其中

[0203]

$$OP_{nb_j} = \begin{cases} 1; & \text{新开的贝与相邻贝不属于同一条作业线;} \\ 0; & \text{新开的贝与相邻贝属于同一条作业线;} \end{cases}^a$$

[0204] 所述混堆策略的选位模型的规则为如果混吨级,则应遵循重压轻原则;如果混港,则应遵循远压近原则,即远的卸货港出口箱应混合到近的卸货港中,且远卸货港出口箱应靠近车道,近卸货港出口箱应远离车道;如果混船,则应遵循逊先压后的原则,即先装船的出口箱应靠近车道,后装船出口箱应远离车道;其主要由以下部分组成:

[0205] 决策函数:

[0206] B_{cui} : 当前集港箱所属箱组的箱区 i 内计划贝集合;

[0207] NA_j : 计划贝 j 中预计集港的箱量;

[0208] NO_{cuj} : 当前集港箱来港时该箱组所在的计划贝 j 内的箱总数;

[0209] QEP: 所有已计划和已堆存的出口箱箱区;

[0210] BEP_j : 箱区 i 中所有已计划和已堆存的出口箱贝;

[0211] $Size_j$: 当前集港箱所属船舶计划贝 j 的计划尺寸;

- [0212] TN: 当前集港箱所选贝的后续箱的吨级数；
- [0213] PN_t : 贝内吨级为 t 的箱子的预测值。该值由班轮出口箱吨级分布统计资料等决定， $t \in [1, TN]$ ；
- [0214] OCB_k : 船舶计划贝内已存在的箱量；
- [0215] Ncu : 当前集港箱的后续箱预计的个数；
- [0216] t_m : 贝内当前集港箱后第 m 个后续箱的吨级， $t_m \in [1, TN]$ ；
- [0217] Noc_{mt} : 当前集港箱后第 m 个后续箱到港时，贝内吨级为第 t 级的箱量；
- [0218] Noc_m : 当前集港箱后第 m 个后续箱到港时，贝内已有的箱量；
- [0219] P_{mt} : 当前集港箱后第 m 个后续箱为吨级第 t 级的概率； $P_{mt} = (PN_t - Noc_{mt}) / (NA_j - Noc_m)$
- [0220] Yct_{Ncu} : 最后一个后续箱选位后造成的压箱个数；
- [0221] tir_{cu} : 当前集港箱所选位的层。
- [0222] RS_{cu} : 当前集港箱选位后造成的贝内压箱个数，取决于排内重吨级箱上方轻吨级箱的数量；
- [0223] $OCij_{kc}$: 箱区 i 的第 j 贝第 k 排第 c 层是否存在集装箱，存在为 1，不存在为 0；
- [0224] 决策参数
- [0225]

$$MT_{cuijk} = \begin{cases} 1, & \text{当前集港箱选择箱区 } i \text{ 的第 } j \text{ 贝第 } k \text{ 排;} \\ 0, & \text{当前集港箱未选择箱区 } i \text{ 的第 } j \text{ 贝第 } k \text{ 排;} \end{cases}$$

[0226]

$$MT_{mijk} = \begin{cases} 1, & \text{当前集港箱的第 } m \text{ 个后续箱选择箱区 } i \text{ 的第 } j \text{ 贝第 } k \text{ 排;} \\ 0, & \text{当前集港箱的第 } m \text{ 个后续箱未选择箱区 } i \text{ 的第 } j \text{ 贝第 } k \text{ 排;} \end{cases}$$

[0227] 目标函数：

[0228] $f_1 = MT_{cuijk} * RS_{cu}$ ，其中 $k \in (1, Row_i)$ ， $j \in BEP_i$ ， $i \in Q_all$

[0229]

$$f_2 = \sum_{t_1}^{TN} P_{1t_1} * MT_{1ijk} * (\sum_{t_2}^{TN} P_{2t_2} * MT_{2ijk} * (\dots, \sum_{t_m}^{TN} P_{mt_m} * MT_{mijk} * (\dots, \sum_{t_{Ncu}}^{TN} P_{(Ncu)t_{Ncu}} * MT_{(Ncu)ijk} * Yct_{Ncu})))$$

其中 $k \in (1, Row_i)$ ， $j \in BEP_i$ ， $i \in Q_all$

[0230] $Min(f_1 + f_2)$

[0231] 约束条件：

[0232] 如果 $\exists j \in B_{cui}, 0 \leq NO_{cuj} \leq Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1) - 1$ ，则 $\sum_{i \in Q_all} \sum_{j \in B_{cui}} \sum_{k=1}^{Row_i} MT_{cuijk} = 1$ 如果 $NO_{cuj} = Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)$ ，以及 $OCB_k < Bvall_i * (Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1))$ ，同时 $\exists j \in Bvall_i$ ，

其中 $\sum_{c=1}^{Tier_i} OC_{ijk} = 0$ ，则 $\sum_{i \in Q_all} \sum_{j \in Bvall_i} \sum_{k=1}^{Row_i} MT_{cuijk} = 1$

[0233] 如果 $NO_{cuj} = Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)$ ，以及 $OCB_k < Bvall_i * (Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1))$ ，则

[0234]
$$\sum_{i \in Q_all} \sum_{j \in Bvall_i} \sum_{k=1}^{Row_i} MT_{cuijk} = 1$$

[0235] 如果 $OCB_k = Bvall_i * (Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1))$ ，同时 $\exists i \in QEP, j \in BEP_i, j \notin Bvall_i$ ，其中

$$[0236] \quad \sum_{c=1}^{Tier_i} OC_{ijkc} = 0, \text{ 则 } \sum_{i \in QEP} \sum_{j \in BEP_i} \sum_{k=1}^{Row_i} MT_{cuijk} = 1$$

[0237] 如果 $OC_{B_k} = B_{vall_i} * (Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1))$, 同时 $\exists i \in QEP, j \in BEP_i, j \notin B_{vall_i}$ 其中

$$[0238] \quad \sum_{k=1}^{Row_i} \sum_{c=1}^{Tier_i} OC_{ijkc} \leq Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1), \text{ 则 } \sum_{i \in QEP} \sum_{j \in BEP_i} \sum_{k=1}^{Row_i} MT_{cuijk} = 1$$

$$[0239] \quad \sum_{c=1}^{tir_{cu}-1} OC_{ijkc} = tir_{cu} - 1, \text{ 其中 } i \in Q_all, j \in B_{cui}, k \in (1, Row_i)$$

[0240] 如果, $NO_{cu} = Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)$, 则 $S_{cu} = Size_j$, 其中 $j \notin B_{cui}$ 。

[0241] 所述基于双 40 尺的出口箱堆场分配模型的作业规则, 属于同一尺寸、同一船舶、同一港口及同一吨级的集装箱在一个贝中计划两排或偶数排; 对于 20 尺的集装箱应按两个相邻贝为一个单位计划, 以方便 4 个 20 尺的集装箱同时被存取。

[0242] 根据上述技术方案得到的本发明从整体最优的角度建立集装箱码头出口箱箱区分配模型、箱位计划模型和自动选位模型, 并设计有效的求解算法, 从而为码头降低装卸成本, 提高服务质量提供理论支撑。从而能够实现如下目标:

[0243] 1. 降低码头装卸成本。可通过减少内卡的总体移动距离, 减少场桥大车移动距离, 降低翻箱率达到。

[0244] 2. 提高服务质量。可通过减少堆场内交通堵塞, 提高收、发箱效率, 提高双 40 装船比例, 减少船舶在港时间达到。

[0245] 本发明对出口箱箱区分配、箱位计划、进场自动选位进行深入研究和对提高双 40 装船的比例的初步考虑, 有利于提高既定堆场密度下出口箱堆垛的有序性, 具有为后续装船作业的有序组织奠定良好基础的重要意义; 有利于减少场桥大车移动距离和内卡水平运输距离, 具有降低码头装卸成本提供的重要意义; 有利于码头决策自动化的实现, 具有提高码头计算机自动决策水平的重要意义。同时, 对促进双 40 英尺装卸设备在集装箱码头中的广泛应用和推广具有一定的实际意义。

附图说明:

[0246] 以下结合附图和具体实施方式来进一步说明本发明。

[0247] 图 1 为集装箱码头平面示意图

[0248] 图 2 为堆场箱位示意图

[0249] 图 3 为出口箱堆场分配模型框架图

[0250] 图 4 为出口箱箱区滚动计划示意图

[0251] 图 5 为船舶预分配区段数决策示意图

[0252] 图 6 为四十尺箱计划示意图

[0253] 图 7 为贝内排允许堆放层数

[0254] 图 8 为作业时间示意图

[0255] 图 9 为集港箱箱位分配与其他模块的关系

[0256] 图 10 为出口箱集港贝分配示意图

[0257] 图 11 为箱区内计划的贝分两部分示意图

[0258] 图 12 为卸货港分布示意图

- [0259] 图 13 为卸货港分配图
- [0260] 图 14 为箱组分配图
- [0261] 图 15 为箱组与贝匹配图
- [0262] 图 16 为贝内排分配示意图
- [0263] 图 17 为压箱示意图
- [0264] 图 18 为出口箱箱区分配模型可行解求解算法流程图
- [0265] 图 19 为编码方式示意图
- [0266] 图 20 为出口箱箱区分配分布式遗传算法程序流程图
- [0267] 图 21 为出口箱贝分配模型可行解算法流程
- [0268] 图 22 为出口箱卸货港分布模型可行解算法流程
- [0269] 图 23 为贝与箱组匹配模型求解算法流程
- [0270] 图 24 为贝内排分配模型求解算法流程
- [0271] 图 25 为智能选位第一级策略模型求解算法流程
- [0272] 图 26 为新开贝模型求解算法流程
- [0273] 图 27 为混堆策略选位模型可行解算法流程
- [0274] 图 28 为混堆策略选位模型的分布式遗传算法流程

具体实施方式：

[0275] 为了使本发明实现的技术手段、创作特征、达成目的与功效易于明白了解，下面结合具体图示，进一步阐述本发明。

[0276] 本发明采取分层法进行堆场分配：第 1 层为各船舶的集港箱或卸船箱计划箱区，第 2 层负责为各箱组分配区、贝、排，第 3 层负责为具体的出口箱分配箱位；对基于双 40 尺的出口箱堆场分配模型则单独考虑。具体情况如图 3 所示。多数港口通常在船舶到港前第 5 天的上午 9 点开港集箱。集箱前首先要做堆存计划，为船舶的集港箱划分堆存区域，即给该船舶的集港箱分配区段。为提高装船效率，集装箱装船时通常综合考虑船舶结构信息、出口箱量、配载情况、岸桥状况、船舶在港时间、其他在港船舶作业状况等因素，进行作业线（岸桥）配置和调度。每条船舶的岸桥配置数从 1～6 台不等，大型船舶可多达 7 台。由于每个堆场区段通常最多配置两台场桥，为满足多台岸桥并行同步作业的要求，在做集港计划时，应根据预计的作业线数，将集港箱分配到多个区段，以便装船时多个区段同时发箱，保证岸桥作业效率。装船作业在同一时间段的船舶，其集港箱不能堆放在同一区段，为此，必须平衡各时段和船舶作业相关的作业量，提高装船效率。根据船舶近期泊位计划信息，为其集港箱就近分配区段，能减少装船时的水平运输距离和运输时间，减少集卡配置量，降低水平运输成本。

[0277] 堆存计划一般是天计划，考虑到近期将要到达或将要离开的集装箱对堆存计划的影响，需在当天综合考虑未来几天集装箱进出堆场的情况。当前国内大多数集装箱码头的集港天数都为 4 天，若以 4 天为决策周期，这些集装箱的离开信息可以看作是确定参数。本文以 4 天为一个决策周期，由于国内多数集装箱码头实行大三班制，即每班 12 小时工作时间，所以将每天划分为 2 个计划时段。如图 4 所示，一个决策周期为近 4 天的进场箱分配箱位，方案中仅有该决策周期第 1 个计划时段的计划被执行。计划被执行后，更新相关信

息,当前决策周期向前推进 1 个计划时段,进行新一轮的决策。滚动式决策既保证了当前阶段被执行的计划综合考虑了近期的整体情况,又保证了后面的计划在当前阶段计划被执行后,得到实际信息的情况下进行决策,避免了各种不确定信息对计划逐级扩大的影响。

[0278] 由图 5 可知,场桥—岸桥配比和堆场翻箱率、场桥效率、岸桥效率有关。经过仿真分析可知,在“贝内的集港箱属同一尺寸,同一船舶,同一个卸货港(或同一作业线相邻卸货港),排内只有一个重量级,堆场堆存状态良好,翻箱较少,发箱流畅,2 台场桥能满足 1 台岸桥的需求。为此,每个船舶对应堆场区段数的确定方法如下:

[0279] (1) 若装船时每个区段配备 1 台轮胎吊,则一个作业线分配两个堆场箱区。由于装船时只要一个箱区内只有 1 台轮胎吊,一个堆场区段只允许对应某船舶的 1 条作业线,堆场箱区数为作业线数的 2 倍。

[0280] (2). 若堆存箱区数不足,则可计划最接近 2 倍作业线的箱区,然后将计划的每个箱区分成两部分,两部分之间至少隔开一个大贝,这样可以保证同一箱区内如果有两台场桥能够同时作业。

[0281] 船舶应分配堆存区段的数目给定后,需进一步决策各船舶的出口箱应堆存在哪些区段。其相关数学模型如下。

[0282] 1. 符号说明¹

[0283] TP: 决策周期需要预做堆存计划的时段; 决策周期为 4 天,12 个小时为一个计划时段, $TP = 8$, 每个计划时段用 t 表示,每次只有 $t=1$ 的计划时段的决策被执行;

[0284] NA: 普通箱区数;

[0285] P: 当前决策周期(每个决策周期开始时更新当前决策周期为 P);

[0286] VP_t : 决策周期 P 内计划时段 t 预做堆存计划的船舶集合;

[0287] VP_{jt} : 当前决策周期 P 内的计划时段 t 内的船舶 j ;

[0288] NVP_{ti} : 计划时段 t 内区段 i 中已有船舶或已计划船舶的集合;

[0289] B_{jt} : 船 VP_{jt} 的预靠泊位(由于船舶要到港后才靠泊,所以出口箱集港时船舶泊位只能是预考泊位,且当前集装箱码头所靠船舶一般为班轮,班轮所靠泊位一般都是固定的所以预靠泊位一般与实际靠泊泊位是一致的)位置,以船舶的中心位置为准;

[0290] d_{ijt} : 堆场区段 i 与计划时段 t 内船舶 j 预靠泊位之间的距离(平均距离,参考点为连续泊位的中部,且考虑港口内交通布局及区段到泊位的行驶路径等);

[0291] $N20_{jt}$: 计划时段 t 内的船舶 j 出口箱普通 20 尺的数量;

[0292] $N40_{jt}$: 计划时段 t 内的船舶 j 出口箱普通 40 尺的数量;

[0293] Row_i : 箱区 i 内允许堆放的排数;

[0294] $Tier_i$: 箱区 i 内允许堆放的层数;

[0295] OPL_j : 船舶 j 装船时预计的作业线数;

[0296] K_{jt} : 计划时段 t 内的船舶 j 处于集港的第几个时段(每条船集港分 8 个时段);

[0297] STH_{it} : 计划时段 t 时箱区 i 内所有船舶的作业(装船或卸船)开始时间集合(包括已有船舶和已计划船舶), $STH_{it} = \{STH_{it1}, STH_{it2}, \dots, STH_{itn}\}$;

[0298] ETH_{it} : 计划时段 t 时箱区 i 内所有船舶的作业(装船或卸船)结束时间集合(包括已有船舶和已计划船舶), $ETH_{it} = \{ETH_{it1}, ETH_{it2}, \dots, ETH_{itn}\}$;

[0299] ST_{jt} : 计划时段 t 内的船舶 j 的装船开始时间;

[0300] ET_{tj} : 计划时段 t 内的船舶 j 的装船结束时间;

[0301] $N_{20_{ijt}}$: 计划时段 t 之前的时段 k 内船舶 j 计划到箱区 i 的 20 尺出口箱箱量;

[0302] $N_{40_{ijt}}$: 计划时段 t 之前的时段 k 内船舶 j 计划到箱区 i 的 40 尺出口箱箱量;

[0303] $NU_{i(t-1)}$: 当前决策周期的 $t-1$ 时段末时, 区段 i 的空贝数(根据船舶的离港时间和提箱的统计规律预测);

[0304] $NUB_{i(t-1)}$: 当前决策周期的 $t-1$ 时段末时, 区段 i 的空大贝数(根据船舶的离港时间和提箱的统计规律预测), 大贝为一个箱区中连续相邻的两个贝组合而成, 空大贝即为箱区中连续相邻的两个空贝组成;

[0305] λ : 宽泛系数(选择箱区时, 箱区的空位数应不小于分到该箱区的箱量乘以宽泛系数);

[0306] N_{large_0} : N_{large_0} 为较大的正实数, 一般可设 $N_{large_0}=1000$, 若 $N_{20_{jt}}+2*N_{40_{jt}} > N_{large_0}$ 表明船舶 VP_{jt} 的出口箱量较多;

[0307] N_{small_0} : N_{small_0} 为较小的正实数, 一般可设 $N_{small_0}=200$, 若 $N_{20_{jt}}+2*N_{40_{jt}} < N_{small_0}$ 表明船舶 VP_{jt} 的出口箱量较少;

[0308] 2. 决策参数

[0309] $AL_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{区段 } i \text{ 在计划时段 } t \text{ 内分配给船舶 } VP_{jt} \\ 0, & \text{区段 } i \text{ 在计划时段 } t \text{ 内未分配给船舶 } VP_{jt} \end{cases}$, 一旦确定了集港堆存区段, 在集

港过程中, 相应的集装箱将堆存在该区段, 其中 $1 \leq i \leq NA$, $VP_{jt} \in VP_t$

[0310]

$$HAL_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{区段 } i \text{ 在计划时段 } t \text{ 之前的时段 } k \text{ 内分配给船舶 } VP_{jt} \\ 0, & \text{区段 } i \text{ 在计划时段 } t \text{ 之前的时段 } k \text{ 内未分配给船舶 } VP_{jt} \end{cases}$$

[0311] $N_{20_{ijt}}$: 计划时段 t 内船舶 j 计划到箱区 i 的 20 尺出口箱箱量;

[0312] $N_{40_{ijt}}$: 计划时段 t 内船舶 j 计划到箱区 i 的 40 尺出口箱箱量;

[0313] 3. 目标函数与约束条件

[0314] 该模型中的决策目标如下:

[0315] (1). 保证总的船舶到各箱区水平运输距离最短(为了保证整体最优, 则水平运输距离应该是计划的 4 天内所有船舶的水平运输距离之和);

[0316] (2). 保证每条船在各箱区的作业量均衡;

[0317] (3). 保证各箱区总作业量的均衡;

[0318] 该模型可构建一个多目标函数, 如下所示。

[0319] 目标函数:

[0320]

$$f_1 = \text{Min} \sum_{t=1}^{TP} \sum_{j \in VP_t} \sum_{i=1}^{NA} (N_{20_{ijt}} + N_{40_{ijt}}) * AL_{ijt} * d_{ijt} \quad (2-3-1)$$

[0321]

$$\forall j \in VP_t, f_2 = \text{Min} \left\{ \text{Max}_{(ij)} \left[\sum_{k=1}^{K_{jt}} [(N_{20_{ijk}} + 2 * N_{40_{ijk}}) * HAL_{ijk}] + \sum_{t=1}^{S-K_{jt}} [(N_{20_{ijt}} + 2 * N_{40_{ijt}}) * AL_{ijt}] \right] \right\}$$

$$[0322] \quad \left. \left. \left. \text{Min}_{\{t\}} \left[\sum_{k=1}^{K_{jt}} [(N_{20_{jtk}} + 2 * N_{40_{jtk}}) * HAL_{jtk}] + \sum_{i=1}^{8-K_{jt}} [(N_{20_{jti}} + 2 * N_{40_{jti}}) * AL_{jti}] \right] \right] \right\} \right\} \quad (2-3-2)$$

[0323]

$$f_3 = \text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^{TP} \left[\text{Max}_{\{t\}} \left(\sum_{j \in VP_t} (N_{20_{jti}} + 2 * N_{40_{jti}}) * AL_{jti} \right) - \text{Min}_{\{t\}} \left(\sum_{j \in VP_t} (N_{20_{jti}} + 2 * N_{40_{jti}}) * AL_{jti} \right) \right] \right\} \quad (2-3-3)$$

[0324] 构建多目标规划: $\text{Min} \{ \omega_1 * f_1, \omega_2 * f_2, \omega_3 * f_3 \}$ (2-3-4)

[0325] 约束条件:

[0326] $t \in TP, j \in VP_t$ (2-3-5)

[0327]

$$N20_{jt} = \sum_{i=1}^{NA} AL_{ijt} * N_{20_{ijt}} \quad (2-3-6)$$

[0328]

$$N40_{jt} = \sum_{i=1}^{NA} AL_{ijt} * N_{40_{ijt}} \quad (2-3-7)$$

[0329]

$$\text{Min} \left[\sum_{k=1}^{K_{jt}} \sum_{i=1}^{NA} HAL_{jtk} + \sum_{i=1}^{8-K_{jt}} \sum_{i=1}^{NA} AL_{jti} - 2 * OPL_{jt} \right] \quad (2-3-8)$$

[0330]

$$\forall t = (1, 2, \dots, 8), \lambda * \left(\sum_{j \in VP_t} N20_{jt} + 2 * \sum_{j \in VP_t} N40_{jt} \right) \leq \sum_{i=1}^{NA} AL_{ijt} * NU_{i(t-1)} * [Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)] ,$$

其中

[0331] 只要 $\exists j \in VP_t$, 使得 $AL_{ijt} = 1$, 即可 (2-3-9)

[0332]

$$\forall t = (1, 2, \dots, 8), \lambda * \sum_{j \in VP_t} N40_{jt} \leq \sum_{i=1}^{NA} AL_{ijt} * NUB_{i(t-1)} * [Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)] \quad (2-3-10)$$

[0333]

$$\forall m \in NVP_{it}, AL_{ijt} * [STH_{mt} - ET_{jt}] * [ETH_{mt} - ST_{jt}] > 0 \quad (2-3-11)$$

[0334] 对于 $VP_{xt}, VP_{yt} \in VP_t$, 若 $N20_{xt} + 2 * N40_{xt} > N_{large_0}$ 且 $N20_{yt} + 2 * N40_{yt} > N_{large_0}$, 则: $AL_{ixt}, AL_{iyt} = 0, 1 \leq i \leq NA$ (2-3-12)

[0335] 式 (2-3-1) 综合考虑了近 4 天集港船舶的整体情况, 使所有船舶装船时的总体水平运输代价最小。式 (2-3-2) 为保证作业线的并行同步作业时, 各箱区作业量应尽量均衡, 船舶 VP_{jt} 的集港箱在集港结束时平均分配到各个区段, 因此该船所计划的箱区中计划量最大的箱区和计划量最小的箱区的计划量之差应该最小, 装船时每个区段同时开始发箱, 同时结束装船。式 (2-3-3) 为保证整个堆场各箱区作业量的整体平衡, 即近 4 天在各箱区中作业量最大的箱区与作业量最小的箱区之间的作业量之差最小, 从而保证了某一箱区内

作业量不会过度集中,造成交通堵塞。式(2-3-4)将这3个目标构建成一个多目标函数,其中 ω_1 为船舶到各箱区水平运输距离最短的权重; ω_2 为同一船舶在箱区间的作业量均衡的权重; ω_3 各箱区作业量的均衡的权重。对该目标采用权重的方法是因为,如果只为了使船舶到各箱区水平运输距离最短,则有可能导致有些箱区的作业量非常大,而有些箱区的作业量则较少,保证各作业线之间的不均衡,这样船舶开船时间则由作业量最大的作业线来决定,虽然水平运输距离最短,但船舶在港时间仍然较长,例如A1箱区有相连的5个空贝,A2箱区也有5个空贝,但贝与贝之间的间隔之和为8个贝,此时有一条船需要6个空贝,如果只考虑场桥大车移动距离最短,则应在A1箱区计划5个贝,A2箱区计划1个贝,这样计划则会导致两个箱区对同一条船的作业量不均衡,导致装船时瓶颈出现在A1箱区。本文中拟定 $\omega_1=0.5$, $\omega_2=0.4$, $\omega_3=0.2$ 。

[0336] 式(2-3-5)保证了计划时段在决策周期内,计划船舶属于计划时段内的船舶集合。式(2-3-6)保证了计划时段 t 内船舶 j 的20尺箱个数等于该船分配到各箱区的20尺箱个数之和。式(2-3-7)保证了计划时段 t 内船舶 j 的40尺箱个数等于该船分配到各箱区的40尺箱个数之和。式(2-3-8)保证了任何一条船分配的区段数应尽量接近于作业线数的2倍。

[0337] 式(2-3-9)该约束保证了时段 t 内计划的箱区的空位要不少于该时段所有集港船舶的出口箱的箱量。虽然该约束保证了整个时段 t 内的计划箱区的空位能满足总箱量的堆放需求,但没有保证40尺出口箱也能完全堆放(因为每个40尺箱需要占用两个相邻的贝,如果箱区里边所有的空贝中,属于两两相邻的贝组成的大贝少于40尺箱所需要的贝数时,40尺箱则不能完全堆放),因此要对40尺箱专门约束,如图6(该图中阴影部分表示贝已经被占用,空白部分表示该贝为空,图中箱区每个贝为6排4层)所示,当某船有30个40尺箱需要集港时,需要两个大贝,按照式(2-3-9)的计算,该箱区中可用于计划的箱位为 $6*[6*4-(4-1)]=126$ 个,而该船40尺箱所需的箱位为 $40*2=80$ 个,所以按该式该船的40尺箱可以完全计划到该箱区;但图中箱区 i 能组成大贝的只有13、15贝,所以只有一个大贝,即40尺箱不能完全计划在箱区 i 中;式(2-3-9)中 $(Tier_i-1)$ 是由于堆场中靠近车道出的排只能堆放一层,别的层用于翻箱,如图7所示。

[0338] 式(2-3-9)中 $NU_{i(t-1)}$ 的预测可由以下四项决定:

[0339] (1) 当前决策周期开始时,已堆存在箱区 i 的集装箱箱量;

[0340] (2) 从决策周期开始累计到计划时段 t ,所有集港进场到箱区 i 的集装箱箱量,应综合考虑规划周期内集箱到区段 i 的所有船舶,包括:决策周期开始时已集箱到箱区 i ,规划周期内继续集箱的船舶;规划周期的第1、2、3和第4天开港集箱到该区段的船舶。

[0341] (3) 从决策周期开始累计到计划时段 t ,所有进口箱进场到箱区 i 的集装箱箱量(由于本文重点考虑出口箱的优化,所以进口箱按统计规律预测)

[0342] (4) 从规划周期开始到计划时段 t ,箱区 i 每个时段装船出场的集装箱量和提箱的箱量(根据每条船开船时间决定装船出场的集装箱,根据每天提箱的统计规律决定提箱的箱量)。

[0343] 式(2-3-10)保证了时段 t 内计划箱区的两两相邻的空贝的组数能满足不小于40尺出口箱的箱量。

[0344] 式(2-3-11)保证同一箱区内船舶的作业时间不能交叉,同一箱区装船时间不能

交叉,作业时间在时间轴上都可以表示成一条线断,而任意两线断 a、b 不交叉的条件是 $(S1-E2)*(E1-S2) > 0$,如图 8 所示:

[0345] 式 (2-3-12) 避免同一箱区集港高峰期作业量过于集中。集装箱通常在船舶到达前第 4 天的上午 9 点开港集箱,同一时间开港集箱的船舶,其到港时间及装卸作业时间较接近,且通常在装船前 0.5 ~ 3 天,集箱量较大。即:同一时间开港的船舶,其集港箱通常在同一天达到进箱高峰且装船时间重叠的可能性较大。为避免集港高峰期重叠造成区段内作业量过于集中,当同一天开港集箱的船舶出口箱量均大于一定数量时,应避免将其集港箱分配在同一区段。式 (2-3-12) 保证了同箱区内集港作业量不过于集中。

[0346] 在模型 2.3 中已经将决策周期内各时段每一船出口箱集港的箱区分配完成,这时就需要根据当前时段内为每条船分配箱区的实际情况,决策各船在各箱区的贝计划,各船各卸货港在不同箱区的分布计划,贝与箱组匹配计划、贝内排计划等。这些计划不需要决策整个决策周期内的所有时段,只需决策当前时段,因为只有当前时段的计划会被执行。集港箱箱位分配非常复杂,如图 9 所示,主要表现如下:

[0347] (1) 集港箱箱位分配应考虑发箱顺利的要求,同时,具体箱位的分配将影响发箱顺序。

[0348] (2) 发箱顺序和装船顺序有直接关系。一般情况下,发箱顺序可根据装船顺序并综合考虑集装箱堆存箱位和相应船舶的路径和距离确定。

[0349] (3) 装船顺序与船舶配载图、岸桥调度、船舶装载模式等模块密切相关。船舶配载需考虑集装箱的堆场堆存情况,同时,在有利于岸桥分配和调度的原则下进行配载。

[0350] 1. 决策原则

[0351] (1):不能混尺寸;

[0352] (2):不能混进出口;

[0353] (3):非普通箱不能进入普通重箱区;

[0354] (4):堆高不能超过堆高限制;

[0355] 2. 箱位分配规则

[0356] (1) 第 1 级:贝内的集港箱属同一尺寸,同一船舶,同一个卸货港(或同一作业线相邻卸货港),排内只有一个重量级按照“尺寸—船名—卸货港—重量级”对集装箱进行分类,尺寸相同,同属一条船和一个卸货港(或相邻卸货港)的集装箱堆放在同一贝(或堆放在多个区段,每个区段内堆放在同一贝),同一重量级堆放在贝内的同一排。

[0357] (2) 第 2 级:贝内的集港箱属同一尺寸,同一船舶,同一个卸货港,排内允许有多个重量级按照“尺寸—船名—卸货港”对集装箱进行分类,尺寸相同、同属一条船和一个卸货港的集装箱堆放在同一贝(或堆放在多个区段,每个区段内堆放在同一贝),不同重量级按“重压轻”堆放。

[0358] (3) 第 3 级:贝内的集港箱属同一尺寸,同一船舶,不同卸货港,排内箱只有一个卸货港按照“尺寸—船名—卸货港”对集装箱进行分类,尺寸相同、同属一条船的集装箱堆放在同一贝(或堆放在多个区段,每个区段内堆放在同一贝),不同卸货按排堆放。

[0359] (4) 第 4 级:贝内的集港箱属同一尺寸,同一船舶,不同卸货港,排内箱允许有多个卸货港按照“尺寸—船名”对集装箱进行分类,尺寸相同、同属一条船的集装箱堆放在同一贝(或堆放在多个区段,每个区段内堆放在同一贝),不同港口“按远压近堆放”。

[0360] (5) 第 5 级：贝内的集港箱属同一尺寸，不同船舶，排贝只有一个船舶的集港箱按照“尺寸—船名”对集装箱进行分类，尺寸相同的集港箱堆放在同一贝，贝内不同船舶的集港箱按排堆放。

[0361] (6) 第 6 级：贝内的集港箱属同一尺寸，不同船舶，排内允许有多个船舶的集港箱按照“尺寸”对集装箱进行分类，尺寸相同的集港箱堆放在同一贝，不同船舶的集港箱按“先作业压后作业”方式堆放。

[0362] 本文中箱位计划模型都是以第一级分配策略规则建模，但具体的出口箱进场选位可根据当时计划贝的实际情况，按照不同级别的分配策略选位混堆。

[0363] 贝分配模型

[0364] 1. 符号说明

[0365] Q_{all_v} : 当前时段分配给船舶 v 的出口箱区集合；

[0366] NB_i : 箱区 i 内空贝的集合；贝分配时只能分配空的贝（空贝是指当该船的出口箱集港时，该贝是空的，且未计划给别的船）；

[0367] L_{ijk} : 箱区 i 内第 j 贝和第 k 贝之间的距离；

[0368] Dis : 一个贝的宽度；

[0369] $N40_{iv}$: 箱区 i 内计划船 v 的 40 尺的箱量；

[0370] $N20_{iv}$: 箱区 i 内计划船 v 的 20 尺的箱量；

[0371] Row_i : 箱区 i 内允许堆放的排数；

[0372] $Tier_i$: 箱区 i 内允许堆放的层数；

[0373] Bno_j : 箱区 i 内第 j 贝的贝号；

[0374] $Blsn_{iv}$: 箱区 i 内分配给船舶 v 的左边界贝的贝号；

[0375] $Bren_{iv}$: 箱区 i 内分配给船舶 v 的右边界贝的贝号；

[0376] $Bblsn_{iv}$: 箱区 i 内之前分配给船舶 v 的左边界贝的贝号；

[0377] $Bbren_{iv}$: 箱区 i 内之前分配给船舶 v 的右边界贝的贝号；

[0378] $Bvall_{iv}$: 箱区 i 内分配给船舶 v 的贝集合；

[0379] OP_{ij} : 判断箱区 i 内第 j 贝与其相邻贝是否属于同一条作业线；

[0380] $Badn_{iv}$: 箱区 i 中给船 v 计划的贝中连续贝的块集合，块为一个箱区中连续相邻的几个贝组合而成；

[0381] Bn_{biv} : 箱区 i 中给船 v 计划的块 b 的贝数；

[0382] Sad_{ij} : 箱区 i 内第 j 贝相邻贝的作业开始时间；(指装船或卸船的开始时间)

[0383] Ead_{ij} : 箱区 i 内第 j 贝相邻贝的作业结束时间；(指装船或卸船的开始时间)

[0384] S_{ij} : 箱区 i 内第 j 贝的装船开始时间；

[0385] E_{ij} : 箱区 i 内第 j 贝的装船结束时间；

[0386] λ : 贝分配时的宽泛系数；

[0387] 2. 决策变量：

[0388]

$$F_{iv} = \begin{cases} 1, & \text{箱区的第 } j \text{ 贝作为船 } v \text{ 集港箱的计划贝;} \\ 0, & \text{箱区的第 } j \text{ 贝不作为船 } v \text{ 集港箱的计划贝;} \end{cases}$$

[0389]

$$BP_{iv} = \begin{cases} 1, \text{箱区内之前已经计划过船}v\text{的贝;} \\ 0, \text{箱区内之前没有计划过船}v\text{的贝;} \end{cases}$$

[0390] 3. 目标函数与约束条件

[0391] 该目标函数有两个子目标, (1) 为当前时段内每一条船集港时大车移动距离最短, 即让各箱区中计划给每一条船的贝与贝之间的距离最短; (2) 如果计划的箱区与已经给该船的箱区重复, 则当前时段计划的和之前计划的所有贝之间距离最短;

[0392] 对于目标 (1) 可用计划的贝之间的距离和最小来表示, 因为集港时同一箱区内每个出口箱分配到计划的每个贝的几率是一样的, 所以场桥大车在贝与贝之间来回移动的次數基本一致, 因此虽然集港时大车移动的距离较计划的贝与贝之间的距离大很多, 但只要能够保证贝与贝之间的距离最小, 就基本能保证集港时大车移动距离最小。

[0393] 对于目标 (2) 可用之前计划的贝的边界贝与当前时段计划贝的边界贝之间的距离来表示。

[0394] 目标函数:

[0395]

$$f_1 = \text{Min} \sum_{v \in VP_1} \sum_{i \in Q_all_v} \sum_{j \in NB_i, k \in NB_i} F_{jv} * F_{kv} * L_{ijk} \quad (2-4-2-1)$$

[0396]

$$f_2 = \text{Min} \sum_{v \in VP_1} \sum_{i \in Q_all_v} \left(BP_{iv} * \left[\text{Max}(|Blsn_{iv} - Bbren_{iv}|, |Brsn_{iv} - Bblen_{iv}|) / 2 + 1 \right] * Dis \right) \quad (2-4-2-2)$$

$$\text{Min} (\omega_1 * f_1 + \omega_2 * f_2)$$

$$(2-4-2-3)$$

[0399] 约束条件:

$$i \in Q_all_v, j \in NB_i, v \in VP_1 \quad (2-4-2-4)$$

[0401]

$$\forall i \in Q_all_v, v \in VP_1, \sum_{j \in NB_i} F_{jv} * (Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)) = \lambda * (N20_{iv} + 2 * N40_{iv}) \quad (2-4-2-5)$$

[0402]

$$\forall v \in VP_1, i \in Q_all_v, \sum_{j \in [Blsn_{iv} + 2, Bren_{iv} - 2]} ((1 - F_{jv}) * (1 - F_{i(j+1)v})) = 1 \quad (2-4-2-6)$$

$$\forall v \in VP_1, i \in Q_all_v, j \in Bvall_{iv}, OP_{ij} * (S_{ij} - Ead_{ij}) * (E_{ij} - Sad_{ij}) \geq 0; \text{其中}$$

[0404]

$$OP_{ij} = \begin{cases} 1, \text{箱区内第}j\text{贝与相邻贝不属于同一条作业线;} \\ 0, \text{箱区内第}j\text{贝与相邻贝属于同一条作业线;} \end{cases} \quad (2-4-2-7)$$

[0405]

$$\forall i \in Q_all_v, v \in VP_1, \sum_{b \in Badn_{iv}} [Bn_{biv} / 2] * [Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)] \geq \lambda * N40_{iv} \quad (2-4-2-8)$$

$$Badn_{iv} = Bvall_{iv} \quad (2-4-2-9)$$

$$\lambda > 1$$

$$(2-4-2-10)$$

$$L_{ijk} > 0, Dis > 0 \quad (2-4-2-11)$$

[0410] 式 (2-4-2-1) 为目标 (1), 即保证集港时大车移动距离最短, 也即所有集港的贝之

间距离最短。如图 10 所示,如果船舶在该箱区 i 中需要计划 3 个贝,从图中的空贝分布看出,可有多种方案选择 3 个空贝,以方案 1 和方案 2 为例,方案 1 的 3 个贝距离之和为 5 个贝,方案 2 的 3 个贝的距离之和为 6 个贝,因此方案 1 较方案 2 更好。

[0411] 式 (2-4-2-2) 为目标 (2),保证了当前时段内的任意船舶 v 计划的箱区 i 与已经给该船的箱区重复时,该箱区 i 当前时段计划的和之前计划的所有贝之间距离最短,从而使装船时场桥始终在一个较小的范围内移动。

[0412] 式 (2-4-2-3) 将目标 (1) 和目标 (2) 转换成一个多目标函数由于这 2 个目标函数均以贝与贝之间的距离为单位,所以可用一个函数来表示,该函数中 ω_1, ω_2 为两个目标的权重,本文中拟定 $\omega_1=0.7, \omega_2=0.3$ 。

[0413] 式 (2-4-2-4) 保证了当前时段内的任意船舶 v 计划的贝都在分配的箱区中,且属于各箱区的空贝;式 (2-4-2-5) 保证了当前时段内的任意船舶 v 计划的箱区内分配的箱位足够堆放该船计划在该箱区的出口箱;式 (2-4-2-6) 考虑到一个箱区内最多能允许两台场桥同时作业,因此任意船舶 v 计划的箱区内分配的贝集合中,其左边界贝和右边界贝之间必须有 2 个相邻的贝未计划给该船,式 (2-4-2-6) 中 $(1-F_{ijv})*(1-F_{i(j+1)v})$ 用于判断是否存在两个相邻贝都未计划给该船,如图 11 所示,箱区 i 内计划 9 个贝,分两部分,左边部分为 03 ~ 11 贝,右边部分为 17 ~ 23 贝,其边界 11 贝和 17 贝的贝号差为 6,这样可以保证有两台场桥能够同时作业。

[0414] 式 (2-4-2-7) 保证了相邻贝如果属于不同的作业线,则作业时间不能交叉,任意相邻贝如果属于不同作业线,其作业时间不能交叉,因为相邻贝不能有两台场桥同时作业。式 (2-4-2-8) 保证了当前时段内的任意船舶 v 所分配的贝中,以两个相邻贝为大贝的大贝数可以足够堆存该船 40 尺的集装箱,因为每个 40 尺的集装箱要占两个相邻的贝,则所有计划的贝中以每两个相邻贝为一个大贝,则大贝总数不能小于 40 尺箱所需要的大贝数。式 (2-4-2-9) 保证了当前时段内的任意船舶 v 计划的块集合与贝集合是一致的。式 (2-4-2-11) 为贝计划时宽泛系数要大于 1。式 (2-4-2-11) 为贝与贝之间的距离、贝的宽度大于 0。

[0415] 卸货港分配模型

[0416] 该模型目标是保证并行发箱,一个是保证不同作业线可以同时发箱,另一个是保证同一条作业线可以并行发箱,即同一个港口的应计划在不同的区段。第二个目标可通过约束条件来实现。卸货港分布如图 12 所示。

[0417] 1. 符号说明

[0418] Q_{a11_b} : 当前计划之前已经分配给船舶的出口箱区集合;

[0419] $Q_{bh_Lp_p}$: 船舶的卸货港 p 前 50% 箱子所在的箱区;

[0420] $Q_{ah_Lp_p}$: 船舶的卸货港 p 后 50% 箱子计划的箱区;

[0421] LP_{a11} : 船舶的所有卸货港的集合;

[0422] LPO_i : 船舶的在箱区 i 内已存在卸货港的集合;

[0423] LPP_i : 船舶的在箱区 i 内当天计划卸货港的集合;

[0424] Lp_p : 船舶的卸货港 p, p 按照挂靠港先后顺序排列;

[0425] 2. 决策参数

[0426] $SLp_p = \begin{cases} 1, & \text{对于当天的计划, 如果卸货港} p \text{计划在两个或以上的箱区;} \\ 0, & \text{对于当天的计划, 如果卸货港} p \text{计划在一个箱区;} \end{cases}$

[0427] $Lp_{pi} = \begin{cases} 1, & \text{卸货港} p \text{分布在箱区} i \text{中;} \\ 0, & \text{卸货港} p \text{未分布在箱区} i \text{中;} \end{cases}$

[0428] 3. 目标函数与约束条件

[0429] 目标函数：

[0430] $Min \sum_{p \in LP_{all}} SLp_p$

[0431] (2-4-3-1)

[0432] 约束条件：

[0433] 如果 $Q_{all} \cap Q_{all_b} \neq \emptyset$, 则 $LPO_i \cap LPP_i = \emptyset$, 其中 $i \in (Q_{all} \cap Q_{all_b})$
(2-4-3-2)

[0434] $Q_{bh_Lp_p} \cap Q_{ah_Lp_p} = \emptyset$, 其中 $Lp_p \in LP_{all}$ (2-4-3-3)

[0435]

$$\sum_{p \in LP_{all}} Lp_{pi} * Lp_{(p-1)i} * |p - (p-1)| + 1 = \sum_{p \in LP_{all}} Lp_{pi} \quad (2-4-3-4)$$

[0436] 式 (2-4-3-1) 为模型目标, 该目标为当天计划的箱区中分配的卸货港应尽量不同, 即当天计划中同一港口的应尽量计划在一个箱区中, 这样可保证几条作业线可以并行作业, 同时有利于避免作业线交叉, (如图 13 所示, 第一天的卸货港 1、卸货港 2 都分配在箱区 1 中, 卸货港 3、卸货港 4 都分配在箱区 2 中, 这样保证了同一港口在当天计划中只在一个箱区)。

[0437] 式 (2-4-3-2) 保证了如果计划的箱区与已经给该船的箱区重复, 则重复的箱区内计划的卸货港不能重复, 从而避免在箱区内发箱时场桥来回移动, (如图 2-11 所示, 当第二天的计划在第一天的箱区中时, 分配的卸货港不同, 图中第二天的计划在箱区 1 中为卸货港 3, 于第一天的卸货港 1、2 不同, 箱区 1 中为卸货港 1 与第一天的卸货港 3、4 不同)。

[0438] 式 (2-4-3-3) 保证了集港箱量达到一半时, 任意一个卸货港的集装箱计划的贝应与原来计划的贝分布在不同箱区, (如图 2-11 所示, 假设第一天和第二天集港箱量各为 50%, 则第二天的计划与第一天的计划应分布在不同箱区, 图中第二天的计划主要分布在箱区 3、箱区 4)。

[0439] 式 (2-4-3-4) 保证了同一箱区内同一天分布的卸货港港序要相连, 这样可尽量满足配载时同一条作业线对应的箱区中卸货港分布一致, 便于同一条作业线并行发箱。式 (2-4-3-3) 和 (2-4-3-4) 共同保证了同一条作业线并行发箱。

[0440] 贝与箱组匹配模型

[0441] 1. 划分箱组：对同一尺寸、同一船舶、同一卸货港、同一吨级的集港箱为一个箱组, 如图 14 所示。

[0442] 2. 箱组排序：将船舶的箱组按卸货港由远及近、尺寸 20 和 40、吨级由重及轻进行排序, 并按该序列为箱组编号。

[0443] 3. 符号说明：

[0444] CG_{all} : 船舶的出口箱箱组集合；

- [0445] NO_m : 船舶出口箱的箱组 m 的箱组号;按照箱组排序先后顺序排列编号;
- [0446] CG_i : 船舶出口箱在箱区 i 内的箱组数;
- [0447] $BPCG_{im}$: 箱组 m 计划在箱区 i 内的贝;
- [0448] $BTCG_{im}$: 箱组 m 如果需要跨贝时,在箱区 i 内跨越的贝;
- [0449] B_{ij} : 箱区 i 内第 j 贝的贝号;
- [0450] 4. 决策变量

$$[0451] \quad MT_{ijm} = \begin{cases} 1, & \text{箱区 } i \text{ 内第 } j \text{ 贝计划给第 } m \text{ 个箱组堆存;} \\ 0, & \text{箱区 } i \text{ 内第 } j \text{ 贝未计划给第 } m \text{ 个箱组堆存;} \end{cases}$$

$$[0452] \quad BP_{im} = \begin{cases} 1, & \text{箱组 } m \text{ 计划在箱区 } i \text{ 内;} \\ 0, & \text{箱组 } m \text{ 计划未在箱区 } i \text{ 内;} \end{cases}$$

$$[0453] \quad Size_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{如果箱区 } i \text{ 内第 } j \text{ 贝第 } k \text{ 排与 } k-1 \text{ 排计划的箱组尺寸不一致;} \\ 0, & \text{如果箱区 } i \text{ 内第 } j \text{ 贝第 } k \text{ 排与 } k-1 \text{ 排计划的箱组尺寸一致;} \end{cases}$$

$$[0454] \quad S40_m = \begin{cases} 1, & \text{箱组 } m \text{ 为 } 40 \text{ 尺;} \\ 0, & \text{箱组 } m \text{ 不为 } 40 \text{ 尺;} \end{cases}$$

$$[0455] \quad lp_{ijq} = \begin{cases} 0, & \text{箱区 } i \text{ 内第 } j \text{ 贝第 } q \text{ 排的箱组与第 } q-1 \text{ 排的箱组属于同一个卸货港;} \\ 1, & \text{箱区 } i \text{ 内第 } j \text{ 贝第 } q \text{ 排的箱组与第 } q-1 \text{ 排的箱组属于同一个卸货港;} \end{cases}$$

- [0456] 5. 目标函数与约束条件

[0457] 目标为装船时大车移动距离最短,且如果一个箱组要跨越两个贝时,这两个贝之间的距离应该最短,如果没有跨两个贝,则 $L_{iBTCG_{im}BPCG_{im}}$ 为 0;

[0458] 目标函数:

$$Min(\sum_{i \in Q_all} \sum_{m=1}^{CG_i} BP_{im} * L_{iBTCG_{im}BPCG_{im}} + \sum_{i \in Q_all} \sum_{m=1}^{CG_i} MT_{ijm} * MT_{iq(m+1)} * L_{ijq}), j \in Bvall_i, q \in Bvall_i$$

(2-4-4-1)

[0459] 约束条件:

$$[0460] \quad \sum_{i \in Q_all} \sum_{j \in Bvall_i} \sum_{k=2}^{Row_j} Size_{ijk} = 0$$

[0461] (2-4-4-2)

$$[0462] \quad S_{m_40} * MT_{ijm} * MT_{iqm} * |B_{ij} - B_{iq}| = 2, \text{ 其中 } i \in Q_all, j \in Bvall_i, m \in CG_{all} \quad (2-4-4-3)$$

$$[0463] \quad \sum_{q=2}^{Row_j} lp_{ijq} = 0, \text{ 其中 } i \in Q_all, j \in Bvall_i \quad (2-4-4-4)$$

[0464] 式 (2-4-4-1) 为该模型的目标,式中第一项保证了同一个箱组如果需要跨到另一个贝时,跨越的贝与该箱组原计划的贝之间的距离最短;第二项为箱区内相连箱组之间所在贝的距离最短,保证了装船时场桥顺序发箱,大车移动距离最短,(如图 15 所示,方案 1 中,各贝分配的箱组是按照箱组顺序排列的,这样装船时场桥大车移动的距离为 14 个贝;而方案 2 中,各贝分配的箱组没有按照箱组顺序排列的,这样装船时场桥大车移动的距离为 28 个贝,因此方案 1 的贝与箱组匹配计划更好)。

[0465] 式 (2-4-4-2) 保证了整个贝只有一个尺寸。式 (2-4-4-3) 保证了 40 尺箱的箱组

占用两个相邻贝,集装箱码头中每个贝的编码都为奇数,所以两个相邻贝的编号差值为 2,例如 01 贝与 03 贝是相邻贝,其编号差为 2。式 (2-4-4-4) 保证了同一贝内的箱组属于同一卸货港。

[0466] 贝内排分配模型

[0467] 不同箱组的贝排计划规则:后卸货港箱组比先卸货港箱组先装船,且吨级大的箱组教吨级小的箱组先装船,因此同一贝内吨级大的箱组应计划在靠近车道的排,吨级小的箱组应计划在远离车道的排。该策略可以保证发箱时,按先重后轻、先近后远的顺序发箱。

[0468] 在模型 2.4.4 中,各箱组计划到哪些贝已经确定,这时就需要决策贝内各箱组应计划在哪些排;其分配策略如下:

[0469] (1) 获得各贝内计划的箱组数;

[0470] (2) 将计划在各贝内的箱组按箱组号从小到大的顺序排序;

[0471] (3) 按箱组号从小到大的顺序将箱组计划在贝内靠近车道的排到远离车道的排

[0472] 1. 符号说明

[0473] $CG_{i,j,q}$: 箱区 i 内第 j 贝第 q 排的箱组;

[0474] $CT_{i,j}$: 箱区 i 内第 j 贝的箱组集合;

[0475] $GN_{i,j,q}$: 箱区 i 内第 j 贝第 q 排的箱组数;

[0476] 2. 决策变量

[0477] $NO_{CG_{ijq}}$: 箱区 i 内第 j 贝第 q 排的箱组的箱组号;

[0478] 3. 目标函数与约束条件

[0479] 目标为使贝内相邻排的箱组号之差的绝对值最小,(如图 16 所示,方案 1 中装船时发箱顺序可以按顺序从靠近车道的第 6 排到远离车道的第 1 排,这样场桥小车的起升距离最短;而方案 2 中先对第 5、6 排作业,然后对第 1、3 排作业,这样每次对第 1、3 排作业时,场桥小车都要起升至最高点,以越过第 2、4 排。方案 1 的贝内箱组号之差的绝对值为 2,而方案 2 为 5。因此方案 1 较方案 2 更好。)

[0480] 目标函数:

$$[0481] \quad \text{Min} \sum_{q=2}^{Row_i} |NO_{CG_{ijq}} - NO_{CG_{ij(q-1)}}|, \text{其中 } i \in Q_{all}, j \in Bv_{all_i} \quad (2-4-5-1)$$

[0482] 约束条件:

$$[0483] \quad \forall q \in Row_i, NO_{CG_{ijq}} \geq NO_{CG_{ij(q+1)}}, \text{其中 } i \in Q_{all}, j \in Bv_{all_i} \quad (2-4-5-2)$$

$$[0484] \quad \forall q \in Row_i, CG_{ijq} \subset CT_{ij}, \text{其中 } i \in Q_{all}, j \in Bv_{all_i} \quad (2-4-5-3)$$

$$[0485] \quad \forall q \in Row_i, GN_{ijq} = 1, \text{其中 } i \in Q_{all}, j \in Bv_{all_i} \quad (2-4-5-4)$$

[0486] 式 (2-4-5-1) 为模型目标,用于满足贝内相邻排的箱组号之差的绝对值最小。式 (2-4-5-2) 保证了箱组号小的应计划在靠近车道处,箱组号大的应计划在远离车道处,即小排的箱组号应大于大排的箱组号。式 (2-4-5-3) 保证了排内的箱组应包含于计划排所在贝内的箱组集合。式 (2-4-5-4) 保证了一个贝中的一排只能计划给一个箱组。

[0487] 出口箱自动选位模型

[0488] 本文对“箱区分配”、“贝分配”、“卸货港分布”、“箱组与贝匹配”、“贝内排分配”等优化模型已经将各箱组都计划到了最优的排,从理论上讲,只要到港的集装箱与计划时信息一致,就可以直接为集装箱选择一个最优的位置,但是,实际上具体集港箱到港时具有很

大的随机性,因此需要根据当时堆场的情况,动态选择箱位。特别是有些箱组计划的位置不够时,需要混堆时,要对其混堆的位置进行在线优化。为此,本节在“箱区分配”、“贝分配”、“卸货港分布”、“箱组与贝匹配”、“贝内排分配”等优化方案的基础上,构建了集装箱进场自动选位模型,该模型分两部分,一部分为满足第一级分配策略的模型,一部分为满足不了第一级分配策略的混堆模型。

[0489] 第一级分配策略的选位模型

[0490] 该模型将采用基于规则的决策方法,决策规则如下:

[0491] (1) 优先选择该集港箱所属箱组的计划排未堆满的计划贝,且该贝应该是作业场桥到达时间较短的贝。

[0492] (2) 在堆存贝确定后,优先选择已有该箱组堆存且仍有空箱位的排进行堆存;若该贝内已有该组集装箱堆存的排已堆满或该贝内还未有该箱组的集装箱堆存,则应随机选择一个该箱组的计划排中未堆存集装箱的排作为其堆存排。

[0493] 决策过程:

[0494] 第一步:确定当前集港箱所属的箱组。

[0495] 第二步:搜索该箱组的计划区、贝、排。

[0496] 第三步:判断该箱组计划排内是否已堆存满;如果没有堆存满,则执行第四步,否则执行第五步。

[0497] 第四步:在该箱组没堆存满的排内随机选择一排作为该集港箱的堆存排,其堆存位置在该排现有堆存箱最上层的上方。

[0498] 第五步:执行下述的混堆策略的选位模型或新开贝。

[0499] 新开贝选位模型

[0500] 该模型为当前集港箱所属港口计划贝已全部堆满,但该港口集港箱根据预测还有较多(本文以超过半个贝的箱子为基准)的箱子需要集港;对于这种情况,应重新计划贝,一般情况是先开一个贝,待后续箱到达空位不够时,再开贝。

[0501] 1、符号定义:

[0502] B_{lp} : 当前集港箱所属港口计划贝的集合;

[0503] S_{cu} : 当前集港箱的尺寸;

[0504] B_{nb_j} : 新开的贝;

[0505] B_j : 已经计划的贝;

[0506] $L_{B_j-B_{nb_j}}$: 新开贝和原计划贝之间的距离;

[0507] 2、目标函数与约束条件

[0508] 目标为新开贝与原计划贝之间的距离最小,新开贝只要和原计划贝中的某一个贝距离最短即可。

[0509] 目标函数:

[0510] $Min(L_{B_1-B_{nb_1}}, \dots, L_{B_j-B_{nb_j}}, \dots, L_{B_n-B_{nb_n}}, \dots, L_{B_j-B_{nb_j}}, \dots, L_{B_n-B_{nb_n}})$,

其中 $B_j \in B_{lp}$ (2-5-2-1)

[0511] 约束条件:

[0512] $B_{nb_j} \in NB_i$

[0513] (2-5-2-2)

[0514] $S_{cu} = Size_{nb_j}$

[0515] (2-5-2-3)

[0516] $OP_{nb_j} * (S_{nb_j} - Ead_{nb_j}) * (E_{nb_j} - Sad_{nb_j}) > 0$, 其中

[0517]

$$OP_{nb_j} = \begin{cases} 1; & \text{新开的贝与相邻贝不属于同一条作业线;} \\ 0; & \text{新开的贝与相邻贝属于同一条作业线;} \end{cases} \quad (2-5-2-4)$$

[0518] 式 (2-5-2-1) 为该模型目标, 即新开贝与原计划贝之间的距离最小。式 (2-5-2-2) 保证了新开的贝应满足该贝是空贝, 且没做任何计划; 式 (2-5-2-3) 保证了新开的贝应满足尺寸要求; 式 (2-5-2-4) 保证了新开的贝与相邻贝如果属于不同的作业线, 则作业时间不能交叉;

[0519] 混堆策略的选位模型

[0520] 这种情况为当前集港箱所属箱组计划位置已全部堆满, 但该箱所属港口的集装箱根据预测只有很少 (本文以少于半个贝的箱子为基准) 的箱子需要集港, 对于这种情况, 则应采用 2 ~ 6 级的混堆策略。

[0521] 该种情况的混堆规则为: 如果混吨级, 则应遵循重压轻原则; 如果混港, 则应遵循远压近原则, 即远的卸货港出口箱应混合到近的卸货港中, 且远卸货港出口箱应靠近车道, 近卸货港出口箱应远离车道; 如果混船, 则应遵循逊先压后的原则, 即先装船的出口箱应靠近车道, 后装船出口箱应远离车道。该模型的目标为压箱数最少, 如图 17 所示, 阴影部分表示压箱, 图中方框内的数字表示吨级, 方案 1 中贝内压箱数 2, 其中第 4 排为 1 个, 第 5 排为 1 个; 方案 2 中的压箱数为 7, 其中第 1 排为 3, 第 2 排为 2, 第 3 排为 1, 第 4 排为 1, 因此按第一种方案选位较第二种方案选位好。

[0522] 该模型假设当前集港箱通过混堆策略所选的贝内的后续集港箱都是属于计划于该贝的箱组。

[0523] 1. 符号定义

[0524] B_{cui} : 当前集港箱所属箱组的箱区 i 内计划贝集合;

[0525] NA_j : 计划贝 j 中预计集港的箱量;

[0526] NO_{cuj} : 当前集港箱来港时该箱组所在的计划贝 j 内的箱总数;

[0527] QEP: 所有已计划和已堆存的出口箱箱区;

[0528] BEP_j : 箱区 i 中所有已计划和已堆存的出口箱贝;

[0529] $Size_j$: 当前集港箱所属船舶计划贝 j 的计划尺寸;

[0530] TN: 当前集港箱所选贝的后续箱的吨级数;

[0531] PN_t : 贝内吨级为 t 的箱子的预测值。该值由班轮出口箱吨级分布统计资料等决定, $t \in [1, TN]$;

[0532] OCB_k : 船舶计划贝内已存在的箱量;

[0533] N_{cu} : 当前集港箱的后续箱预计的个数;

[0534] t_m : 贝内当前集港箱后第 m 个后续箱的吨级, $t_m \in [1, TN]$;

[0535] $N_{oc_{mt}}$: 当前集港箱后第 m 个后续箱到港时, 贝内吨级为第 t 级的箱量;

- [0536] Noc_m : 当前集港箱后第 m 个后续箱到港时, 贝内已有的箱量;
- [0537] P_{mt} : 当前集港箱后第 m 个后续箱为吨级第 t 级的概率; $P_{mt} = (PN_t - Noc_{mt}) / (NA_j - Noc_m)$
- [0538] Yct_{Ncu} : 最后一个后续箱选位后造成的压箱个数;
- [0539] tir_{cu} : 当前集港箱所选位的层。
- [0540] RS_{cu} : 当前集港箱选位后造成的贝内压箱个数, 取决于排内重吨级箱上方轻吨级箱的数量;
- [0541] OC_{ijk} : 箱区 i 的第 j 贝第 k 排第 c 层是否存在集装箱, 存在为 1, 不存在为 0;
- [0542] 2. 决策参数
- [0543]

$$MT_{cuijk} = \begin{cases} 1, & \text{当前集港箱选择箱区 } i \text{ 的第 } j \text{ 贝第 } k \text{ 排;} \\ 0, & \text{当前集港箱未选择箱区 } i \text{ 的第 } j \text{ 贝第 } k \text{ 排;} \end{cases}$$

[0544]

$$MT_{mijk} = \begin{cases} 1, & \text{当前集港箱的第 } m \text{ 个后续箱选择箱区 } i \text{ 的第 } j \text{ 贝第 } k \text{ 排;} \\ 0, & \text{当前集港箱的第 } m \text{ 个后续箱未选择箱区 } i \text{ 的第 } j \text{ 贝第 } k \text{ 排;} \end{cases}$$

[0545] 3. 目标函数与约束条件

[0546] 集港结束后, 各集港箱的信息已确定, 很容易确定需要翻箱的集装箱的个数, 进而得到贝内总的压箱数。而在集港过程中, 由于后续集港箱到港的随机性, 无法确定下一个来港箱的详细信息, 只有当前到港箱及贝内在港箱的信息已知, 对于当前箱的某个选位方案, 可根据当前箱吨级及相应选位方案下所选排内在港箱的最大吨级, 确定该方案当前压箱个数。在计算后续集港箱造成的压箱数时, 应计算各后续集港箱的造成的压箱期望数, 其中, 后续集港箱的压箱数指该后续箱最优选位方案下, 对应的该贝的压箱数, 其值由对应的最优选位方案唯一确定。该后续集港箱最优排分配方案的确定受在港箱、当前集港箱、先于其到港的后续箱的信息和堆存方案, 以及该后续箱自身吨级信息的影响, 同时应考虑比其晚到港的各后续箱的预测信息, 应保证该后续箱本身的压箱数及晚于其到港的各后续箱的压箱数之和最小。对于某一后续箱由于其到港的随机性, 无法确定其准确的吨级信息, 为此, 必须根据该后续箱可能出现的吨级及各吨级对应的概率等预测信息, 分别确定该后续集港箱每个吨级对应的最优选位方案及相应的压箱数, 在此基础上, 综合该后续箱对应各吨级可能出现的概率, 用相应的压箱数的期望值作为该后续箱的压箱数。

[0547] 目标函数: 使压箱数最少 (包括当前压箱数和对后续集港箱压箱数的估计)

[0548] $f_1 = MT_{cuijk} * RS_{cu}$, 其中 $k \in (1, Row_i)$, $j \in BEP_i$, $i \in Q_all$ (2-5-3-1)

[0549]

$$f_2 = \sum_{t_1}^{TN} P_{1t_1} * MT_{1ijk} * (\sum_{t_2}^{TN} P_{2t_2} * MT_{2ijk} * (\dots, \sum_{t_m}^{TN} P_{mt_m} * MT_{mijk} * (\dots, \sum_{t_{Ncu}}^{TN} P_{(Ncu)t_{Ncu}} * MT_{(Ncu)ijk} * Yct_{Ncu})))$$

其中 $k \in (1, Row_i)$, $j \in BEP_i$, $i \in Q_all$ (2-5-3-2)

[0550] $Min(f_1 + f_2)$ (2-5-3-3)

[0551] 约束条件:

[0552] 如果 $\exists j \in B_{cui}$, $0 \leq NO_{cuj} \leq Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1) - 1$,

则 $\sum_{i \in Q_all} \sum_{j \in B_{cui}} \sum_{k=1}^{Row_i} MT_{cuijk} = 1$ (2-5-3-4)

如果 $NO_{cu_j} = Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)$, 以及 $OCB_k < Bvall_i * (Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1))$, 同时

$$\exists j \in Bvall_i, i \in Q_all, \text{其中} \sum_{c=1}^{Tier_i} OC_{ijk} = 0, \text{则} \sum_{i \in Q_all} \sum_{j \in Bvall_i} \sum_{k=1}^{Row_j} MT_{cuijk} = 1 \quad (2-5-3-5)$$

[0553] 如果 $NO_{cu_j} = Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)$, 以及 $OCB_k < Bvall_i * (Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1))$, 则

[0554]

$$\sum_{i \in Q_all} \sum_{j \in Bvall_i} \sum_{k=1}^{Row_j} MT_{cuijk} = 1 \quad (2-5-3-6)$$

[0555] 如果 $OCB_k = Bvall_i * (Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1))$,

同时 $\exists i \in QEP, j \in BEP_i, j \notin Bvall_i$, 其中 $\sum_{c=1}^{Tier_i} OC_{ijk} = 0$,

$$\text{则} \sum_{i \in QEP} \sum_{j \in BEP_i} \sum_{k=1}^{Row_j} MT_{cuijk} = 1 \quad (2-5-3-7)$$

[0556] 如果 $OCB_k = Bvall_i * (Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1))$, 同时 $\exists i \in QEP, j \in BEP_i, j \notin Bvall_i$ 其中

$$\sum_{k=1}^{Row_j} \sum_{c=1}^{Tier_i} OC_{ijk} \leq Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1), \text{则} \sum_{i \in QEP} \sum_{j \in BEP_i} \sum_{k=1}^{Row_j} MT_{cuijk} = 1 \quad (2-5-3-8)$$

[0557] $\sum_{c=1}^{tir_{cu}-1} OC_{ijk} = tir_{cu} - 1$, 其中 $i \in Q_all, j \in Bcu_i, k \in (1, Row_i)$ (2-5-3-9)

[0558] 如果, $NO_{cu} = Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)$, 则 $S_{cu} = Size_j$,

其中 $j \notin B_{cui}$ (2-5-3-10)

[0559] 式 (2-5-3-1) 为当前集港箱选位后造成的压箱数, 式 (2-5-3-2) 为后续集港箱造成压箱数的期望值, 式 (2-5-3-3) 使当前集港箱选位后造成的压箱数和后续集港箱造成压箱数的期望值最小。

[0560] 式 (2-5-3-4) 满足了第二级的箱位分配策略, 即保证了混堆时, 只要箱组计划贝内还有空位, 则选择箱组所计划的贝, 同时该约束保证了一个集港箱只能选择一个排。式 (2-5-3-5) 该约束满足了第三级的箱位分配策略, 即保证了混堆时, 只要箱组所属船舶计划贝内还有空排, 则选择某一个所计划的贝的空排, 同时该约束保证了一个集港箱只能选择一个排。式 (2-5-3-6) 满足了第四级的箱位分配策略, 即保证了混堆时, 只要箱组所属船舶计划贝内还有空位, 且该贝内无空排, 则选择某一个有所计划的有空位的贝, 同时该约束保证了一个集港箱只能选择一个排。式 (2-5-3-7) 满足了第五级的箱位分配策略, 即保证了混堆时, 只要所有出口箱计划贝内还有空排, 则选择某一个贝的空排, 同时该约束保证了一个集港箱只能选择一个排。式 (2-5-3-8) 满足了第六级的箱位分配策略, 即保证了混堆时, 只要所有出口箱计划贝内还有空位, 且该贝内无空排, 则选择某一个空位, 同时该约束保证了一个集港箱只能选择一个排。式 (2-5-3-9) 该约束保证了集装箱所选位置不能悬空。式 (2-5-3-10) 保证了混堆选的位置应满足尺寸要求。

[0561] 针对近年来新出现的双四十尺岸桥和双四十尺场桥自动化码头, 本文对增加双四十尺装卸的堆场分配策略作出一些初步的探索。其中, 新型双 40 英尺岸桥和场桥的吊具突破了 1 次装卸 1 辆集卡的常规, 理论上 1 次能装卸 4 个 20 英尺箱或 2 个 40 英尺箱, 需 2 个四十尺的集装箱或 4 个 20 尺集装箱满足双四十场桥的装卸工艺, 即 2 个四十尺箱或 4 个 20 尺箱的堆放在相邻排, 才能保证双 40 率, 充分发挥其设计效率。显然, 双 40 英尺岸桥作

业系统的出口箱生产组织比常规岸桥及近年出现的双小车岸桥作业系统更为复杂。为促进新型双 40 英尺岸桥在大型集装箱码头中的应用和推广,本节拟对双 40 英尺岸桥作业系统的集港计划进行较深入的探讨。相关研究方法适用于双 40 英尺岸桥、双小车双 40 英尺岸桥等配备有双 40 英尺吊具机构的大型岸桥作业系统的集港计划,同时对三 40 英尺岸桥,甚至将来更新型岸桥系统的生产组织研究也有一定的指导作用。

[0562] 对于双四十作业的规则:

[0563] ▶属于同一尺寸、同一船舶、同一港口及同一吨级的集装箱在一个贝中计划两排或偶数排(一般的大船出口箱属于同一尺寸、同一船舶、同一港口及同一吨级的集装箱都会超过一排);

[0564] ▶对于 20 尺的集装箱应按两个相邻贝为一个单位计划,以方便 4 个 20 尺的集装箱同时被存取;

[0565] 对于基于双 40 尺的出口箱堆场分配模型有如下考虑:

[0566] (1) 目标为双 40 装船最多,该目标可转化为相邻排计划的是同一箱组的排最多(如图 2-14 所示,方案 1 中可以双 40 尺装船的集装箱为 7 组,而方案 2 中能双 40 装船的为 1

组。因此方案 1 较方案 2 更好。)。因此可在贝内排分配模型中增加一个目标函数 $\text{Max} \sum_{q=2}^{\text{Row}_i} S_{ijq}$,

其中 $i \in Q_all, j \in Bv_{all}_i$;该目标函数用于满足双四十装船最多,该目标函数可以转换为

求最小值函数, $\text{Min} \frac{1}{\sum_{q=2}^{\text{Row}_i} S_{ijq}}$,其中 $i \in Q_all, j \in Bv_{all}_i$;将 2.4.5 节中的目标函数与上

述目标构成一个多目标函数:

[0567] $\text{Min} \left\{ \omega_1 * \sum_{q=2}^{\text{Row}_i} |NO_{CG_{ijq}} - NO_{CG_{ij(q-1)}}|, \omega_2 * \left(\frac{1}{\sum_{q=2}^{\text{Row}_i} S_{ijq}} \right) \right\}$,其中 $i \in Q_all, j \in Bv_{all}_i$,该目

标函数中 ω_1, ω_2 为两个目标的权重;

[0568] (2) 在贝内排分配模型中增加一个约束条件 $\sum_{q=2}^{\text{Row}_{mij}} |R_{mq} - R_{m(q-1)}| = \text{Row}_{mij} - 1$,其中

$i \in Q_all, j \in Bv_{all}_i$,该约束保证了计划在贝中的一个箱组需要的排数超过 2 排时,计划的排应该相邻,这样可以使装船时尽可能多的双四十作业。

[0569] (3) 在贝与箱组匹配模型中增加一个约束条件,如果 B_{ij}, B_{iq} 计划的是同一卸货港的 20 尺箱,则 $|B_{ij} - B_{iq}| = 2$,该约束对于同一个卸货港的 20 尺箱,如果需要的贝数超过 1 个时,计划的贝应该相邻,这样可使一次装卸 4 个 20 尺的集装箱增加。

[0570] 出口箱箱区分配模型算法

[0571] 1. 出口箱箱区分配模型可行解算法

[0572] (1). 算法内涉及的符号定义

[0573] P: 当前决策周期;

[0574] t: 计划时段;

[0575] V_{jt} : 计划时段 t 内的船舶 j;

[0576] N: 计划时段 t 内的集港船舶总数;

[0577] K_{jt} : 船舶 V_j 在时段 t 内处于集港的第几个时段;

[0578] $N_{20_{jt}}$: 船舶 V_j 在时段 t 内集港的普通 20 尺箱量;

- [0579] $N40_{jt}$: 船舶 V_j 在时段 t 内集港的普通 40 尺箱量 ;
- [0580] $BLNum_{jt}$: 船舶 V_j 在时段 t 内所需的箱区数 ;
- [0581] OPL_j : 船舶 V_j 预计的作业线数 ;
- [0582] p_t : 计划时段 t 的比例 ; (上海港以集港 4 天为准, 每天的比例为 1:3:4:2)
- [0583] HBN_j : 船舶 j 在计划时段 t 之前已经分配的箱区数 ;
- [0584] NA : 普通箱区数 ;
- [0585] $DSet_{jt}$: 计划时段 t 内适合分配给船舶 V_j 的箱区集合, $DSet_{jt} = \{B_{jt}^1, \dots, B_{jt}^i, \dots, B_{jt}^n\}$;
- [0586] $Null_{B_{jt}^i}$: 计划时段 t 内适合分配给船舶 V_j 的箱区 B_{jt}^i 的空贝数 ;
- [0587] $LNull_{B_{jt}^i}$: 计划时段 t 内适合分配给船舶 V_j 的箱区 B_{jt}^i 的空大贝数 ;
- [0588] $RSet_{jt}$: 计划时段 t 内实际分配给船舶 V_j 的箱区集合 ; $RSet_{jt} = \{RB_{jt}^1, \dots, RB_{jt}^i, \dots, RB_{jt}^n\}$;
- [0589] N_{20}_{ijt} : 计划时段 t 内船舶 j 计划到箱区 i 的 20 尺出口箱箱量 ;
- [0590] N_{40}_{ijt} : 计划时段 t 内船舶 j 计划到箱区 i 的 40 尺出口箱箱量 ;
- [0591] N_{20}_{ijtk} : 计划时段 t 之前的时段 k 内船舶 j 计划到箱区 i 的 20 尺出口箱箱量 ;
- [0592] N_{40}_{ijtk} : 计划时段 t 之前的时段 k 内船舶 j 计划到箱区 i 的 40 尺出口箱箱量 ;
- [0593] Row_i : 箱区 i 内允许堆放的排数 ;
- [0594] $Tier_i$: 箱区 i 内允许堆放的层数 ;
- [0595] $CTNSet_{jt}$: 计划时段 t 内实际分配给船舶 V_j 的箱区内箱量集合 ; $CTNSet_{jt} = \{(N20_{jt}^1, N40_{jt}^1), \dots, (N20_{jt}^i, N40_{jt}^i), \dots, (N20_{jt}^n, N40_{jt}^n)\}$
- [0596] (2). 算法中的判断条件
- [0597] 条件 1 : $\forall m \in NVP_{jt}, [STH_{mt} - ET_{jt}] * [ETH_{mt} - ST_{jt}] > 0$, 该条件保证计划箱区内船舶的作业时间不能交叉 ;
- [0598] 条件 2 : $N20_{jt} + 2 * N40_{jt} \leq \sum_{i=1}^{BLNum_{jt}} Null_{B_{jt}^i} * [Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)]$, 该条件保证计划箱区内的空箱位满足堆存该船时段 t 内的所有出口箱 ;
- [0599] 条件 3 : $N40_{jt} \leq \sum_{i=1}^{BLNum_{jt}} LNull_{B_{jt}^i} * [Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)]$, 该条件保证计划的所有箱区内的空箱位总数满足堆存该船时段 t 内的所有 40 尺出口箱 ;
- [0600] 条件 4 : $\forall i \in RSet_{jt}, N_{20}_{ijt} + 2 * N_{40}_{ijt} \leq Null_{B_{jt}^i} * [Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)]$, 该条件保证了计划的每一个箱区内的空箱位数量满足该船时段 t 内分配到该箱区的出口箱的堆存 ;
- [0601] 条件 5 : $N20_{jt} = \sum_{i \in RSet_{jt}} N_{20}_{ijt}$, 该条件保证了该船时段 t 内所有 20 尺箱全部被分配 ;
- [0602] 条件 6 : $\forall i \in RSet_{jt}, N_{40}_{ijt} \leq LNull_{B_{jt}^i} * [Row_i * Tier_i - (Tier_i - 1)]$, 该条件保证了计划的每一个箱区内的空箱位数量满足该船时段 t 内分配到该箱区的 40 尺出口箱的堆存 ;

[0603] 条件 7: $N_{40_{jt}} = \sum_{i \in RDS_{jt}} N_{40_{ijt}}$; 该条件保证了该船时段 t 内所有 40 尺箱全部被分配;

[0604] (3). 算法流程如图 18 所示

[0605] 2. 分布式遗传算法实施

[0606] (1). 编码形式。本文箱区分配模型的特性决定了在使用遗传算法对其优化时采用二进制编码或者浮点数编码会使问题更加复杂, 不利于计算机处理, 因此本文采用整数编码。尽管基于整数编码的遗传算法计算步骤与一般的基于二进制编码的遗传算法原理是相同的, 但在具体的实现方法上有很大的不同, 具体的算法实现将在下面的实例中加以说明, 如图 3-3 所示。

[0607] 本模型中以决策周期中不同的计划时段作为染色体, 如图 19 所示, 染色体 1 表示决策周期内第 1 个计划时段内所有集港船舶的箱区分配情况, 其中基因 11 表示船舶 V1 在该时段内分配的箱区为 12 箱区和 13 箱区, 分配的 20 尺箱箱量分别为 40 个和 45 个, 40 尺箱量分别为 21 个和 19 个。本编码方式中的每个个体由不同时段的染色体组成, 即一个时段代表一个染色体, 如染色体 1 表示计划时段 1 的基因; 每个染色体由 4 部分组成, 分别为船舶编号、分配的箱区、20 尺箱量以及 40 尺箱量组成, 其中船舶编号基因按照到港顺序排列为 V1, V2, ..., Vn, 箱区分配基因由每一个奇数位与一个右边相邻的偶数位构成, 20 尺箱和 40 尺箱基因也由每一个奇数位与一个右边相邻的偶数位构成。其中箱区分配的范围为码头中实际的箱区数, 箱量分配的范围是船舶实际的箱量与箱区中空箱位个数中较小的值。

[0608] (2). 种群初始化。根据箱区分配可行解算法随机产生各个处理器上的第一代种群。设种群规模为 n, 分布式遗传算法的处理器为 m 个, 则各子群体的规模为 n/m。本算法中处理器个数为 2。对于子群体规模来说, 当规模太小, 得到的结果一般不好, 可能过早收敛到局部最优解, 大的群体更有希望收敛到全局最优解。然而群体越大, 每一代的计算量也就越多, 规模过大会导致一个无法接受的慢收敛率。根据经验, 规模越大, 收敛到最优解所需代数越少; 规模越小, 收敛到最优解所需代数越多。从已有的文献看, 变量较少时, 规模为 30—50, 变量较多时, 规模为 100—200。

[0609] (3). 进化代数的确定。在实际应用中, 最大代数的选择可以分为两步, 先给出一个小代数, 观察收敛情况, 不理想时, 在原进化结果的基础上继续进化, 通常可取进化代数为 20—50。通过试计算 5、6 次, 即可判断出足够的进化代数为多少。

[0610] (4). 适应度评价。各子群体分别独立计算其个体的适应度值, 并进行排序, 确定优秀个体和最差个体。适应度值尺度变换计算采用线性比例方法。个体适应度值为 f(i) 越大表示该个体适应度越高(HIGH_IS-BEST)。在遗传运行后段, 适应度尺度变换(fitness scaling)为线性尺度变换(Linear Scaling), 则第 k 个父代个体的适应度值 F(k) 为: $F(k) = a \times f(k) + b$ 其中当 $f_{\min} \geq \frac{c \times f_{ave} - f_{\max}}{c - 1.0}$ 时: $a = \frac{f_{ave}}{f_{ave} - f_{\min}}, b = \frac{-f_{\min} \times f_{ave}}{f_{ave} - f_{\min}}$; 否则: $a = \frac{f_{ave}}{f_{ave} - f_{\min}}, b = \frac{-f_{\min} \times f_{ave}}{f_{ave} - f_{\min}}$, 其中 $f_{\max}, f_{ave}, f_{\min}$ 分别表示当前代适应度值的最大值、平均值和最小值。本文取 $c = 2.0$ 。

[0611] 由于箱区分配模型是一个多目标规划问题, 因此先将目标归一化, 归一化方式为

设有一个目标函数 a_k , 设 a_k^{\max} 和 a_k^{\min} 分别为该目标函数估计的最大值和最小值, 则归一化后的目标为 $a_k' = (a_k - a_k^{\min}) / (a_k^{\max} - a_k^{\min})$ 。

[0612] 对于目标函数 (2-3-1) : f_1 进行的归一化处理。设每个集装箱运输到泊位下的最小距离为 l_{\min} , 最大距离为 l_{\max} , 则归一化处理后的目标值为 :

$$[0613] \quad f_1' = \frac{f_1 - \sum_{j \in VP_j} (N_{20_{jt}} + N_{40_{jt}}) * l_{\min}}{\sum_{j \in VP_j} (N_{20_{jt}} + N_{40_{jt}}) * l_{\max} - \sum_{j \in VP_j} (N_{20_{jt}} + N_{40_{jt}}) * l_{\min}}$$

[0614] 对于目标函数 (2-3-2) : f_2 进行归一化处理。设任意一条船分配的箱区中箱量之差最少的估计值为 $CTN_{\min j}$, 箱量之差最大的估计值为 $CTN_{\max j}$, 则归一化处理后的目标值为 :

$$[0615] \quad f_2' = \sum_{j \in VP_j} \frac{f_{2j} - CTN_{\min j}}{CTN_{\max j} - CTN_{\min j}}$$

[0616] f_2' 使每一条船舶分配的箱区中箱量差都最小。

[0617] 对于目标函数 (2-3-2) : f_3 进行归一化处理。设决策周期内所有分配的箱区中箱量之差最少的估计值为 $ALLCTN_{\min}$, 箱量之差最大的估计值为 $ALLCTN_{\max}$, 则归一化处理后的目标值为 :

$$[0618] \quad f_3' = \frac{f_3 - ALLCTN_{\min}}{ALLCTN_{\max} - ALLCTN_{\min}}$$

[0619] 箱区分配模型的多目标函数归一化处理后为 : $f = \text{Min}(\omega_1 * f_1' + \omega_2 * f_2' + \omega_3 * f_3')$, 本算法的适应值函数为 $f(k) = 1 / (\omega_1 * f_1' + \omega_2 * f_2' + \omega_3 * f_3')$, 其中 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 是不同目标函数的权重。

[0620] 对于个体是否可行采用出口箱区分配模型可行解算法中的判断条件 1、2、3、4、5、6、7 来进行判断。不可行解的适应值给一个很小的值代替, 如 -1000。

[0621] (5). 选种。用赌盘轮算法来选择进入交配池的上一代父代个体。保留各子群体的最优个体, 直接进入交配池 (mating pool), 另外的 $N-1$ 个体采用赌盘轮算法随机选取, 形成第一代交配池群体, 执行步骤为 : 1、对子群体中的所有个体 n 的适应值求和,

$$SUM = \sum_{i=1}^n F(x^i), \quad n \text{ 为子群体规模。} \quad 2、\text{确定个体的选择概率} \quad P(x^j) = \frac{F(x^j)}{\sum_{i=1}^n F(x^i)}, \quad (j=1, 2, \dots, n)。$$

3、确定个体的累积概率 4、产生一个 0 到 1 之间的随机数 : RM 。4、从子群体中第一个个体开始, 依次判断其累积概率是否等于或大于 RM , 则判断到的第一个符合条件的个体入选。

[0622] (6). 每个子群体分别独立采用 Steady-State 遗传算法进行选择、交叉、变异操作。交叉操作采用单点交叉, 即以每个基因为整体进行交叉, 即该船分配的箱区、各箱区分配的 20 尺箱量和 40 尺箱量都进行交叉 ; 变异操作采用高斯变异, 其中箱区的变异范围是码头实际的箱区范围, 20 尺箱量和 40 尺箱量的变异范围是取箱区中空箱位与该船的箱量中较小的值为上限。通过指定每代被替换的百分比来确定交迭个体的数目多少, 引入参数 $prepl$ (replacement-percentage), 取替换百分比为 25%。得到的子代个体作为新的父代子群体。

[0623] (7). 移民操作。根据指定的移民数目、移民频率及子群体之间的通讯拓扑关系进行移民操作。取交换频率 (exchange-frequency) 为 3。即当遗传次数为 3 的倍数时, 各子

群体相互传送染色体。移民数目 (migration-number) 为 5, 即每次移民按确定方法将子群体的 5 个最好个体移民到相邻子群体, 并接受相邻子群体的 5 个个体。子群体之间的通讯拓扑关系采用环状结构。如进行移民操作, 则移民后重新构成新一代的子群体个体, 作为下一代父代群体。

[0624] 出口箱箱区分配分布式遗传算法程序流程如图 20 所示。

[0625] 图 20 中 K : 进化代数; K_{\max} : 最大进化代数; P_{\max} : 上一代最大适应度值; C_{\max} : 当前代最大适应度值; P : 随机概率; P_c : 交叉概率; P_m : 变异概率。

[0626] 出口箱贝分配模型算法

[0627] 1. 出口箱贝分配模型可行解算法

[0628] (1). 算法内涉及的符号定义

[0629] $VSet_i$: 当前时段箱区 i 内计划的船舶集合, $VSet_i = \{V_{1i}, V_{2i}, \dots, V_{vi}, \dots, V_{ni}\}$;

[0630] VN_i : 当前时段箱区 i 内计划的船舶数量;

[0631] $N40_{iv}$: 箱区 i 内计划船 v 的 40 尺的箱量;

[0632] $N20_{iv}$: 箱区 i 内计划船 v 的 20 尺的箱量;

[0633] $NBSet_i$: 计划箱区 i 内的空贝集合, $NBSet_i = \{Bay_1, Bay_2, \dots, Bay_j, \dots, Bay_n\}$;

[0634] $NBay20_{iv}$: 船 v 在计划箱区 i 内的所需的 20 尺贝的数量;

[0635] $NBay40_{iv}$: 船 v 在计划箱区 i 内的所需的 40 尺贝的数量;

[0636] $RBSet_{iv}$: 箱区 i 内实际分配给船舶 v 的贝集合; $RBSet_j = \{RB_1, \dots, RB_j, \dots, RB_n\}$

[0637] $RBN20_{iv}$: 箱区 i 内实际分配给船舶 v 的 20 尺贝数量;

[0638] $RBN40_{iv}$: 箱区 i 内实际分配给船舶 v 的 40 尺贝数量;

[0639] Bno_{ijv} : 船 v 计划箱区 i 内实际计划贝的贝号;

[0640] (2). 算法中的判断条件

[0641] 条件 1: $\forall Bay_{jv} \in NBSet_{iv}, OP_{ij} * (S_{ij} - Ead_{ij}) * (E_{ij} - Sad_{ij}) \geq 0$;

[0642] 其中 $OP_{ij} = \begin{cases} 1; \text{箱组内第} j \text{贝与相邻贝不属于同一条作业线;} \\ 0; \text{箱组内第} j \text{贝与相邻贝属于同一条作业线;} \end{cases}$, 该条件保证了相邻贝

属于不同作业线时作业时间不能交叉;

[0643] 条件 2: $RBN20_{ij} \geq NBay20_{ij}$, 该条件用于保证计划的 20 尺贝充足;

[0644] 条件 3: $RBN40_{ij} \geq NBay40_{ij}$, 该条件用于保证计划的 40 尺贝充足;

[0645] 条件 4: $\exists j \in RBSet_{iv}, Bno_{(j+1)v} - Bno_{jv} \geq 6$, 该条件用于保证分配的贝的集合中, 其贝号差值之和应大于或等于 6, 从而达到允许两台场桥同时作业时不发生碰撞。

[0646] (3). 算法流程如图 21 所示。

[0647] 2. 出口箱贝分配模型的分布式遗传算法实施

[0648] 该算法的编码形式采用整数编码, 如“01 03 05 07 10 14 18”, 该个体编码中每 2 位为一个基因, 代表箱区中的贝号, 其中偶数为 40 尺贝。种群规模确定为 50-100, 处理器为 2, 各子群体规模为 25-50。进化代数确定为 20-50。适应度评价中, 在遗传算法的后段采用线性尺度变换, 其中 $c=2.0$, 适应度函数为目标函数式 (2-4-2-3) 的倒数, 即 $f(k)=1/(\omega_1 * f_1 + \omega_2 * f_2)$; 对于个体评价时是否可行, 可采用出口箱区分配模型可行解算法中的判断条件 1、2、3、4 来进行判断, 不可行解的适应值给一个很小的值代替, 如 -1000。选种时, 用赌盘轮算法来选择进入交配池的上一代父代个体, 其选种方式与出口箱箱区分配模型求解

算法中的选种一致。各子群体分别独立采用 Steady-State 遗传算法进行选择、交叉、变异操作,交叉操作采用单点交叉,交叉的基因要选择被交叉个体中不存在的基因;变异操作采用高斯变异,其中变异范围是箱区内的空贝集合;替换百分比取 25%。迁移策略中,子群体之间的通讯拓扑关系采用环状结构,交换频率取 3,移民数目取 5。出口箱贝分配分布式遗传算法程序流程与箱区分配分布式遗传算法程序流程类似,如图 20 所示,只需将初始种群产生的算法改为出口箱贝分配模型可行解算法即可。

[0649] 卸货港分配模型算法

[0650] 1. 卸货港分布模型可行解算法

[0651] (1). 算法内涉及的符号定义

[0652] BSet: 当前船舶所分配的箱区集合, $BSet = \{B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_n\}$;

[0653] NB: 计划船舶所分配的箱区数;

[0654] LPSet: 计划船舶的卸货港集合, $LPSet = \{LP_1, \dots, LP_j, \dots, LP_n\}$;

[0655] NLP: 计划船舶的卸货港数量;

[0656] $LPSet_i$: 箱区 i 中计划的该船舶的卸货港集合;

[0657] (2). 算法流程如图 22 所示

[0658] 2. 箱区内卸货港的分布模型分布式遗传算法实施

[0659] 该算法的编码形式采用整数编码,该个体编码中每相连的位为一个染色体,染色体的位置代表为该船分配的箱区,染色体值代表卸货港的编号,如“010203 0405 070809 10111213”,其中染色体“0102030405”表示卸货港 01、02、03 分布在计划的第 1 个箱区中,染色体“070809”表示卸货港 07、08、09 分布在计划的第 2 个箱区中。种群规模确定为 20-50,处理器为 2,各子群体规模为 10-25。进化代数确定为 10-20。适应度评价中,在遗传算法的后段采用线性尺度变换,其中 $c=2.0$,适应度函数为目标函数式(3-3-3-1)的倒数,即 $f(k)=1/\sum SLp_p$;对于个体评价时是否可行,可采用箱区内卸货港可行解算法来进行判断,不可行解的适应值给一个很小的值代替,如 -1000。其选种方式、遗传操作、迁移策略均与出口箱贝分配模型的分布式遗传算法一致。其分布式遗传算法的计算流程也与出口箱贝分配模型一致,只需将初始种群产生的算法改为箱区内卸货港的分布模型可行解算法即可。

[0660] 贝与箱组匹配模型算法

[0661] 该算法只需要将箱组按顺序计划到分配的贝中即可得到最优解,因此无须使用分布式遗传算法,只需用到约束条件中的规则即可。

[0662] (1). 算法内涉及的符号定义

[0663] $TSet_{ij}$: 计划船舶在箱区 i 内的卸货港 j 的吨级集合, $TSet_{ij} = \{T_1, \dots, T_k, \dots, T_n\}$;

[0664] $CGSet_i$: 计划船舶在箱区 i 内的箱组序列集合, $CGSet_i = \{CG_1, \dots, CG_m, \dots, CG_n\}$;

[0665] NCG_i : 计划船舶在箱区 i 内的箱组总数;

[0666] (2). 算法流程如图 23 所示

[0667] 贝内排分配模型算法

[0668] 该算法只需要将箱组按顺序计划到贝内各排中即可得到最优解,因此无须使用分布式遗传算法,只需用到约束条件中的规则即可。

[0669] (1). 算法内涉及的符号定义

[0670] $CGSet_{ij}$: 计划船舶在箱区 i 内第 j 贝的箱组集合, $CGSet_{ij} = \{CG_{j1}, \dots, CG_{jm}, \dots, CG_{jn}\}$;

- [0671] NCG_{ij} : 计划船舶在箱区 i 内第 j 贝的箱组总数;
- [0672] R_{ij} : 计划船舶在箱区 i 内第 j 贝的排号, 排号由小到大表示到车道的距离由远及近;
- [0673] (2). 算法流程如图 24 所示
- [0674] 第一级策略模型算法
- [0675] 该算法只需根据集港箱所属箱组计划的区、贝、排搜索到一个空位即可, 因此无需采用分布式遗传算法。
- [0676] (1). 算法内涉及的符号定义
- [0677] BaySet: 进场箱所属箱组计划的贝集合, $BaySet = \{Bay_1, \dots, Bay_i, \dots, Bay_n\}$;
- [0678] RSet _{i} : 进场箱所属箱组计划 Bay _{i} 中计划的排集合, $RSet = \{R_{i1}, \dots, R_{ij}, \dots, R_{in}\}$;
- [0679] NBay: 进场箱所属箱组计划的贝的数量;
- [0680] NR _{i} : 进场箱所属箱组计划贝 Bay _{i} 中计划的排数量;
- [0681] T _{i} : 作业场桥到贝 Bay _{i} 的最短时间;
- [0682] Tmin: 作业场桥到贝集合 BaySet 中所有贝的时间最小值, $Tmin = \min(T_1, \dots, T_i, \dots, T_n)$
- [0683] Bno: Tmin 对应的贝;
- [0684] (2). 算法流程如 25 所示
- [0685] 新开贝选位模型算法
- [0686] (1). 算法内涉及的符号定义
- [0687] BLSet: 进场箱所属卸货港计划的箱区集合, $BLSet = \{BL_1, \dots, BL_i, \dots, BL_n\}$;
- [0688] BaySet _{i} : 进场箱所属卸货港计划箱区 BL _{i} 中计划的贝集合, $BaySet_i = \{Bay_{i1}, \dots, Bay_{ij}, \dots, Bay_{in}\}$;
- [0689] BayNsetr _{ij} : 进场箱所属卸货港计划箱区 BL _{i} 中计划的贝 Bay _{ij} 右边的空贝集合, $BayNsetr_{ij} = \{BNr_{ij1}, \dots, BNr_{ijk}, \dots, BNr_{ijn}\}$;
- [0690] BayNsetl _{ij} : 进场箱所属卸货港计划箱区 BL _{i} 中计划的贝 Bay _{ij} 左边的空贝集合, $BayNsetl_{ij} = \{BNl_{ij1}, \dots, BNl_{ijm}, \dots, BNl_{ijn}\}$;
- [0691] NBL: 进场箱所属卸货港计划箱区的数量;
- [0692] NBay _{i} : 进场箱所属卸货港在箱区 BL _{i} 计划的贝的数量;
- [0693] NBayN _{i} : 进场箱所属卸货港在箱区 BL _{i} 空贝的数量;
- [0694] l_{ijk} : 箱区 BL _{i} 内贝 Bay _{ij} 与左边空贝 BNl _{ijk} 之间的距离;
- [0695] l_{ijm} : 箱区 BL _{i} 内贝 Bay _{ij} 与右边空贝 BNr _{ijm} 之间的距离;
- [0696] $lmin_{ij}$: 箱区 BL _{i} 内所有空贝中到贝 Bay _{ij} 最近的距离;
- [0697] $lmin_i$: 箱区 BL _{i} 中的所有空贝到该箱区内集港箱所属卸货港的所有计划贝之间距离的最小值, $lmin_i = \min(lmin_{i1}, \dots, lmin_{ij}, \dots, lmin_{in})$;
- [0698] $lmin$: 进场箱所属卸货港计划的所有箱区中新开贝与原计划的贝之间距离最小值, $lmin = \min(lmin_1, \dots, lmin_i, \dots, lmin_n)$;
- [0699] BayG: $lmin$ 对应的贝;
- [0700] (2). 算法流程如图 26 所示
- [0701] 混堆策略选位模型算法

[0702] 1. 混堆策略选位模型可行解算法

[0703] (1). 算法内涉及的符号定义：

[0704] BlpSet: 所有与进场箱同尺寸、同卸货港箱计划的贝集合, $BlpSet = \{Blp_1, \dots, Blp_i, \dots, Blp_n\}$;

[0705] BvsSet: 所有与进场箱同尺寸、同船舶箱计划的贝集, $BvsSet = \{Bvs_1, \dots, Bvs_j, \dots, Bvs_n\}$;

[0706] BsiSet: 所有与进场箱同尺寸的出口箱计划的贝集合, $BvsSet = \{Bsi_1, \dots, Bsi_k, \dots, Bsi_n\}$;

[0707] NBlp: 与进场箱同尺寸、同卸货港箱计划贝的数量；

[0708] NBvs: 与进场箱同尺寸、同船舶箱计划贝的数量；

[0709] NBsi: 与进场箱同尺寸的出口箱计划贝的数量；

[0710] (2). 算法流程如图 27 所示 2. 混堆策略选位模型的分布式遗传算法实施

[0711] 该算法的编码形式采用整数编码, 如“010233 211 342”, 该个体编码中前 5 位为一个染色体, 表示当前进场箱所选的位置, “010233”表示当前进场箱所选位置为 01 箱区 02 贝第 3 排第 3 层, 后面每 3 位为一个染色体, 表示当前进场箱的后续箱所选的位置和所属的吨级, 由于后续箱表示将进入当前箱所选贝中的出口箱, 所以其位置中的箱区号、贝号与当前箱一致, 因此只需要编码排和层即可, “211”表示当前箱的第 1 个后续箱所选位置为 01 箱区 02 贝第 2 排第 1 层, 吨级为第 1 级。种群规模确定为 50-100, 处理器为 2, 各子群体规模为 25-50。进化代数确定为 20-50。适应度评价中, 在遗传算法的后段采用线性尺度变换, 其中 $c=2.0$, 适应度函数为 3.4.3 节中目标函数式(3-4-3-3)的倒数, 即 $f(k)=1/(f_1+f_2)$; 个体评价是否可行时, 对于第 1 个染色体可通过混堆策略选位模型可行解范围进行判断, 对于后面的染色体可通过 3.3 节中的箱位分配规则第一级来判断, 不可行解的适应值给一个很小的值代替, 如 -1000。选种时, 用赌盘轮算法来选择进入交配池的上一代父代个体, 其选种方式与出口箱箱区分配模型求解算法中的选种一致。各子群体分别独立采用 Steady-State 遗传算法进行选择、交叉、变异操作, 交叉操作采用单点交叉; 变异操作采用高斯变异, 变异时, 应先进行吨级变异, 再根据吨级对箱位进行变异; 替换百分比取 25%。迁移策略中, 子群体之间的通讯拓扑关系采用环状结构, 交换频率取 3, 移民数目取 5。混堆策略选位模型的分布式遗传算法流程如图 28 所示。

[0712] 对于基于双四十的出口箱堆场分配模型, 由于该模型是在普通出口箱堆场分配模型的基础上增加了一些约束条件, 所以其求解也可在普通出口箱堆场分配模型算法的相应处增加约束条件即可。

[0713] 以上显示和描述了本发明的基本原理和主要特征和本发明的优点。本行业的技术人员应该了解, 本发明不受上述实施例的限制, 上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理, 在不脱离本发明精神和范围的前提下, 本发明还会有各种变化和改进, 这些变化和进步都落入要求保护的本发明范围内。本发明要求保护范围由所附的权利要求书及其等效物界定。

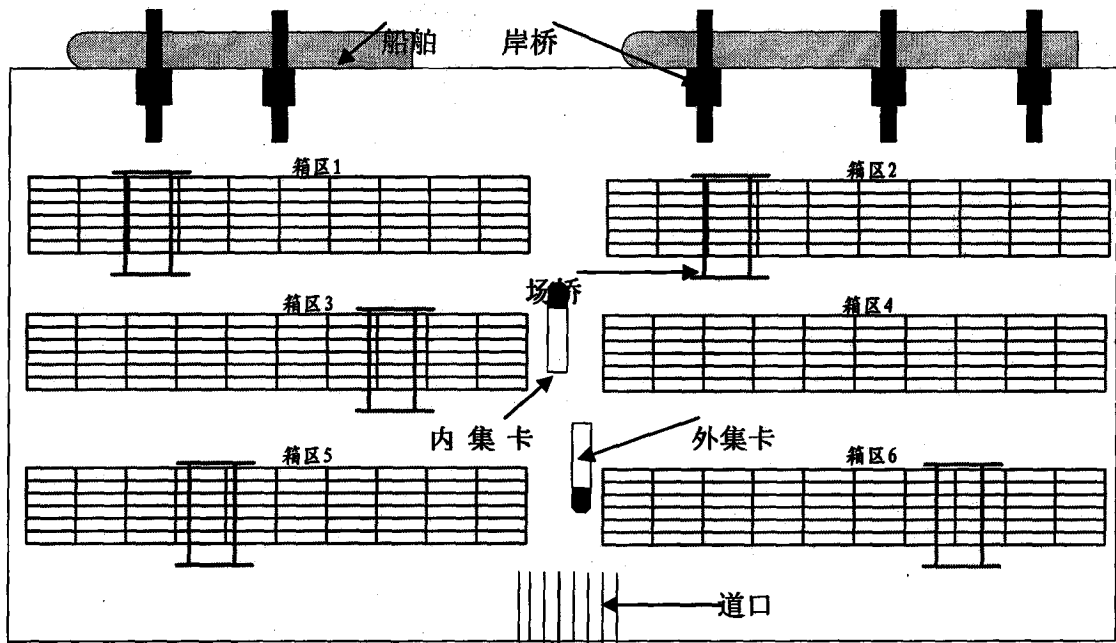


图 1

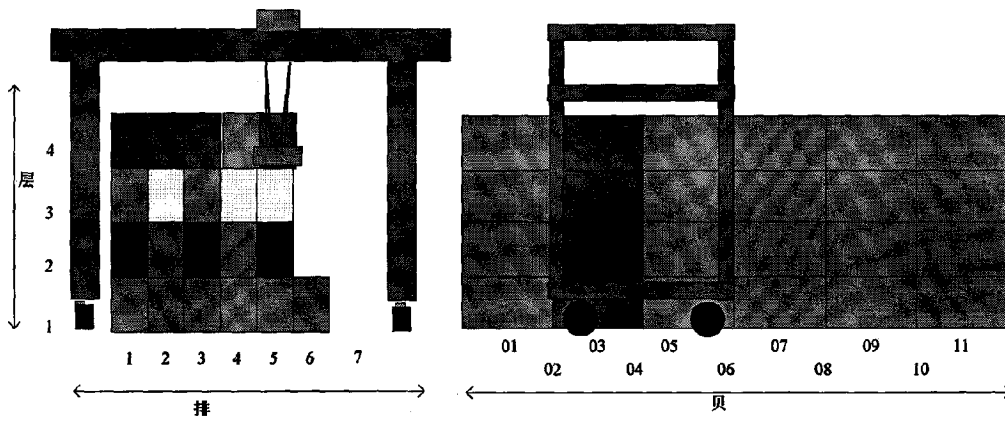


图 2

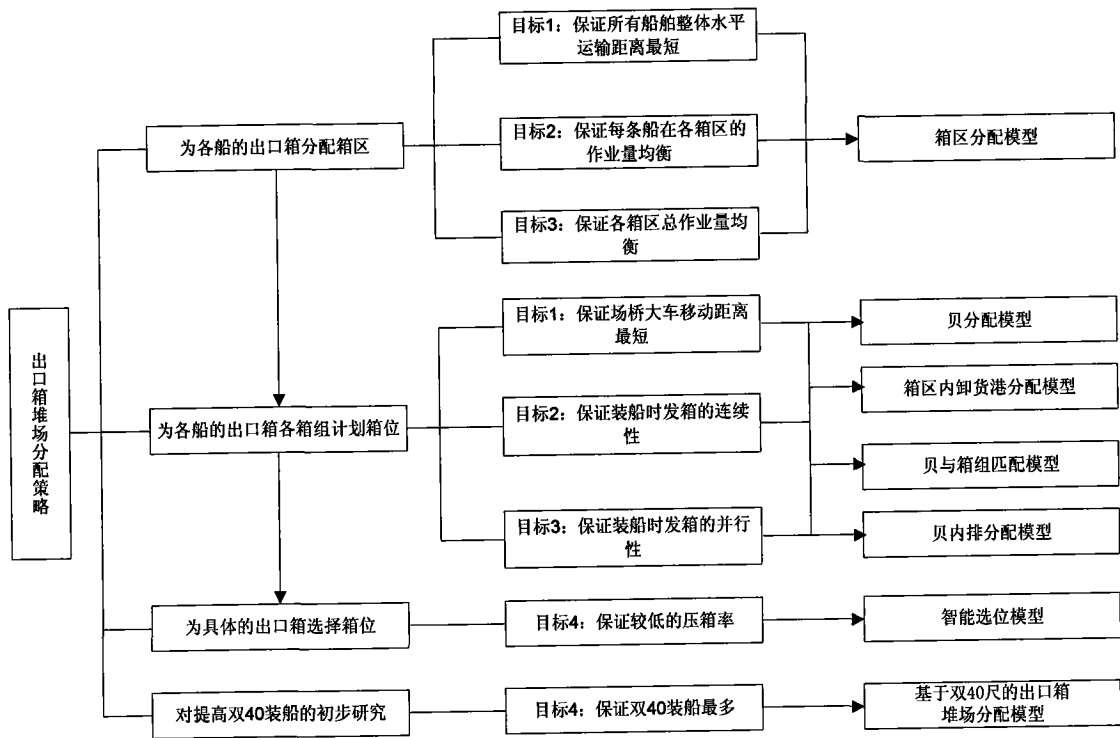


图 3

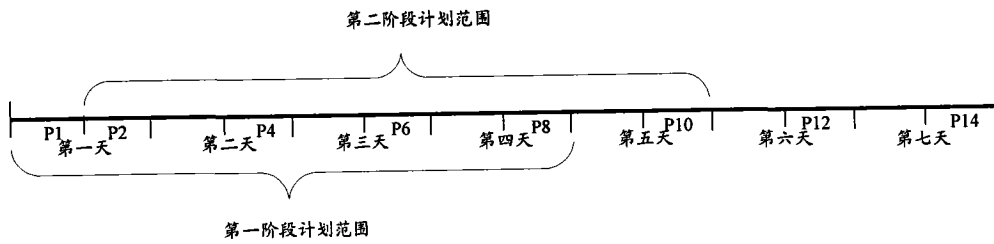


图 4

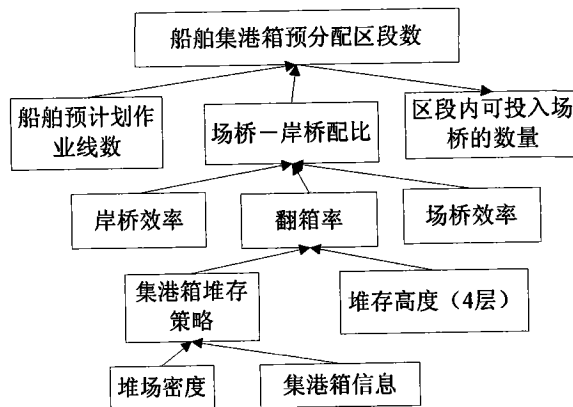


图 5

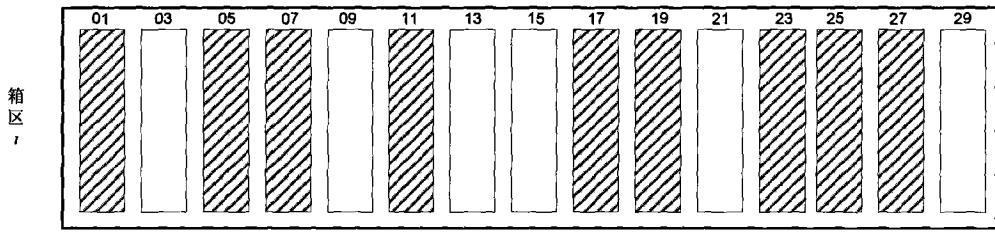


图 6

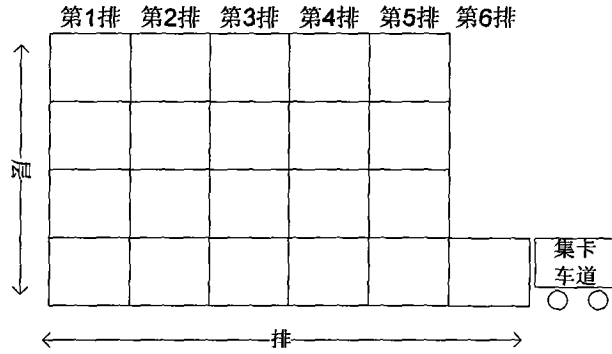


图 7

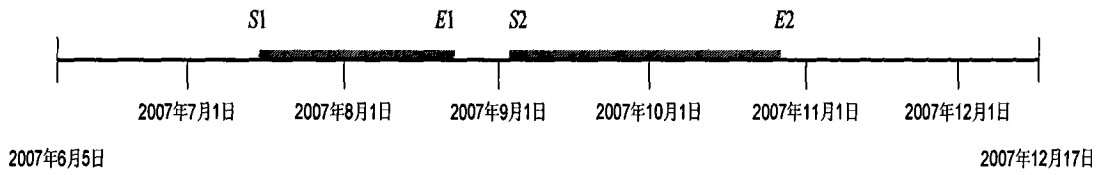


图 8

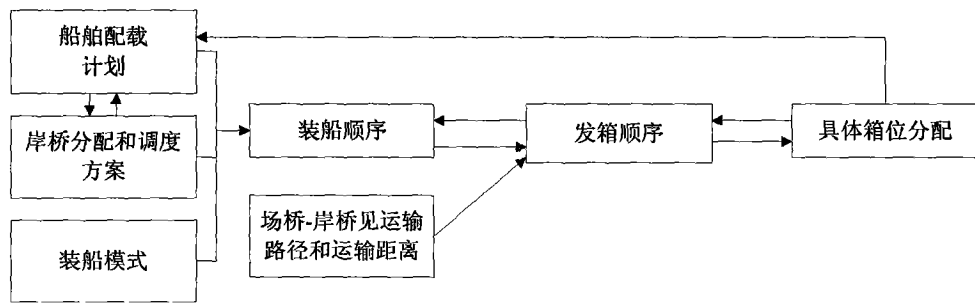


图 9

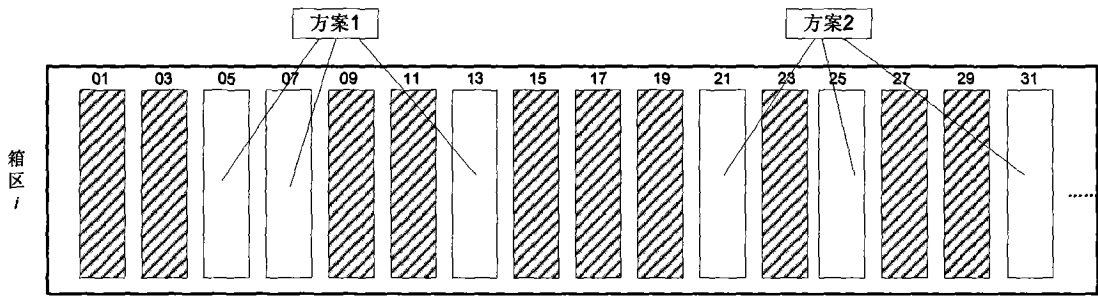


图 10

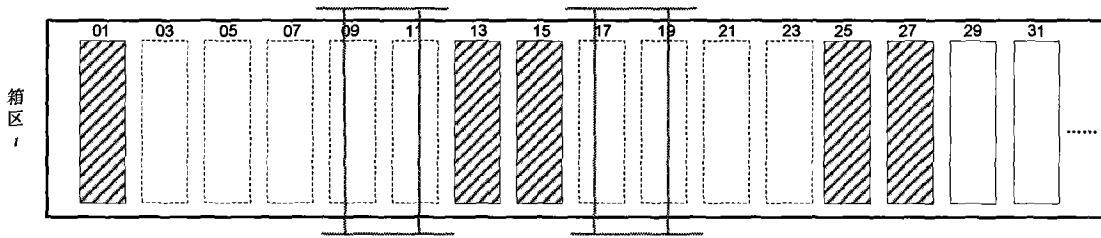


图 11

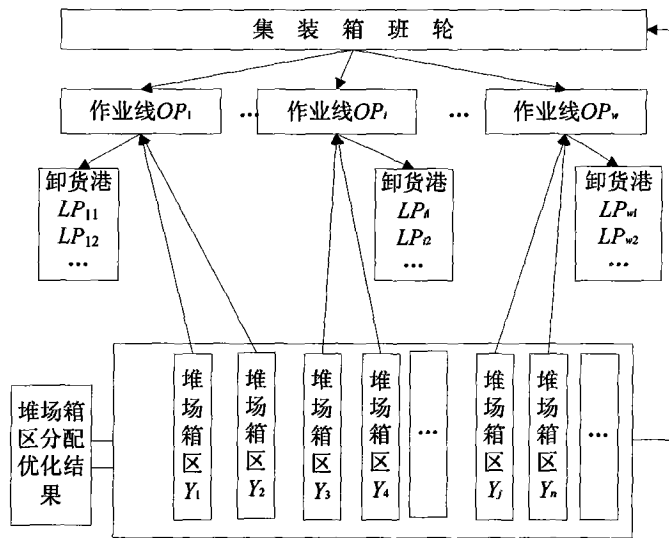
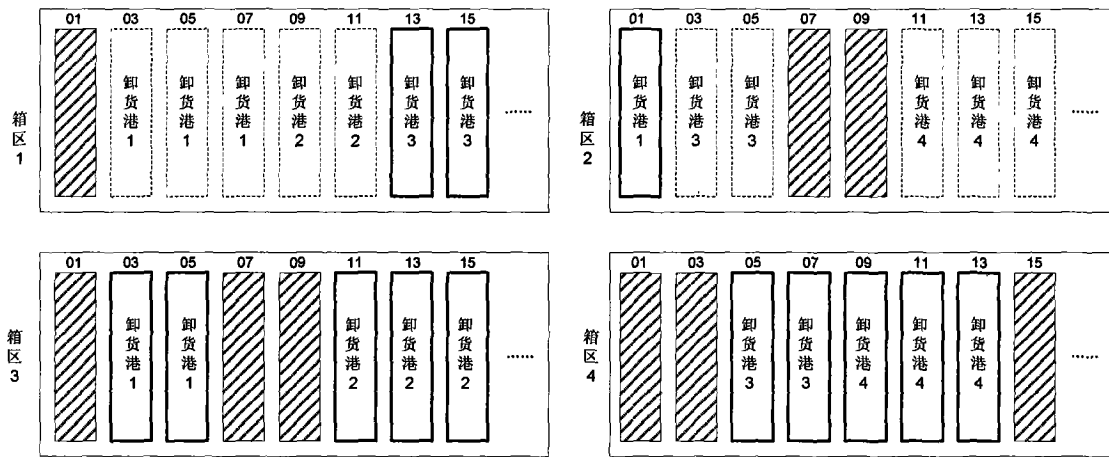


图 12



图中虚线框代表第一天的卸货港分配情况，粗实线框代表第二天的卸货港分配情况

图 13

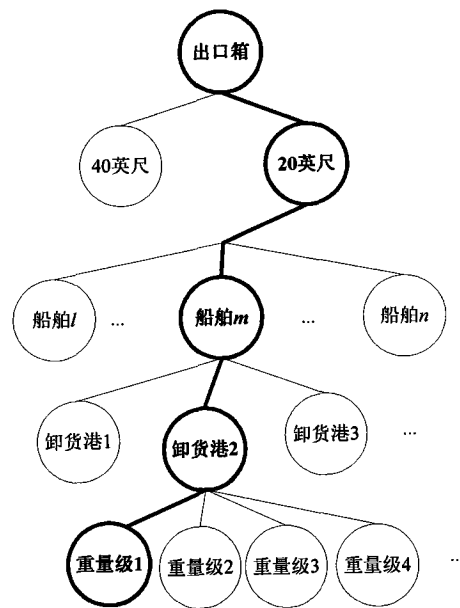


图 14

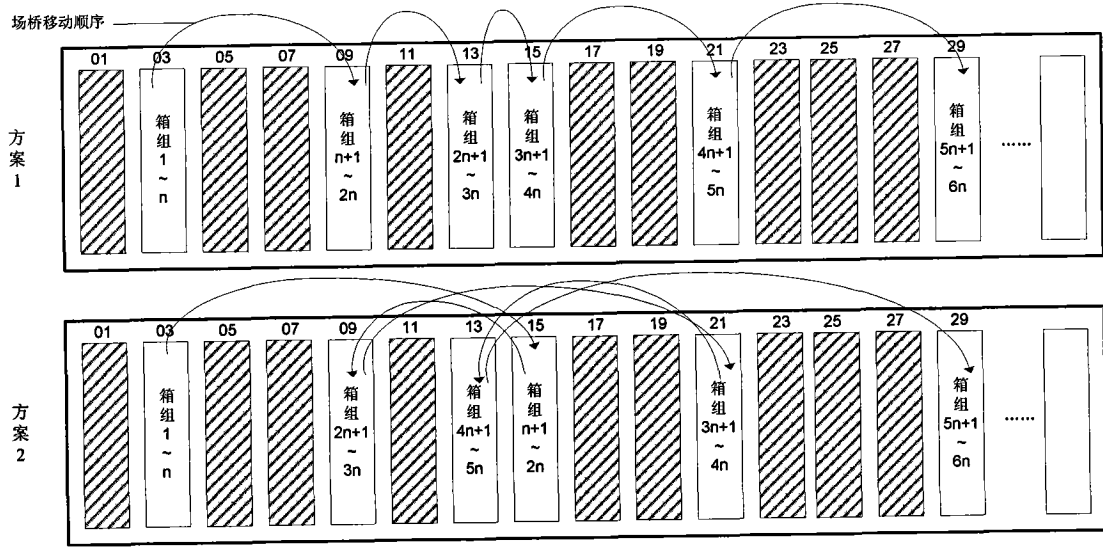


图 15

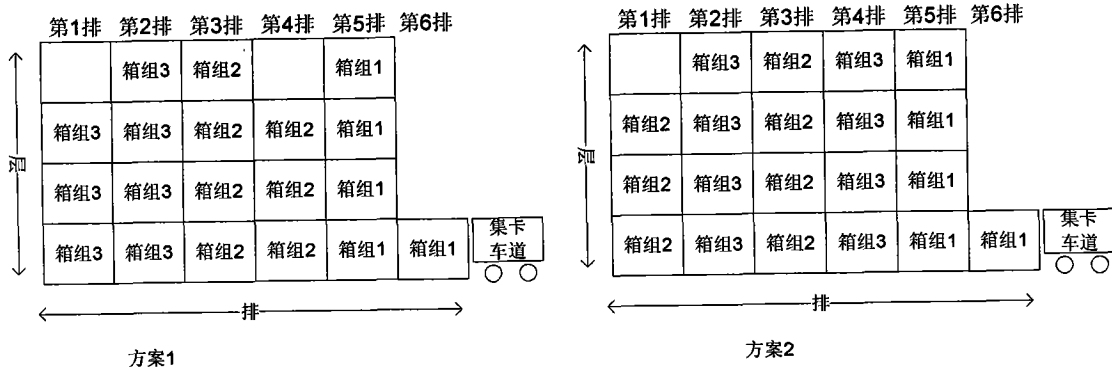


图 16

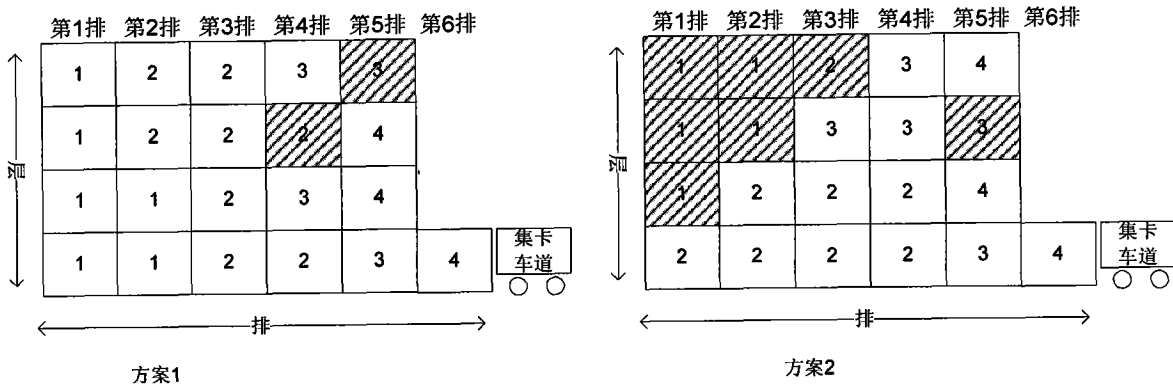


图 17

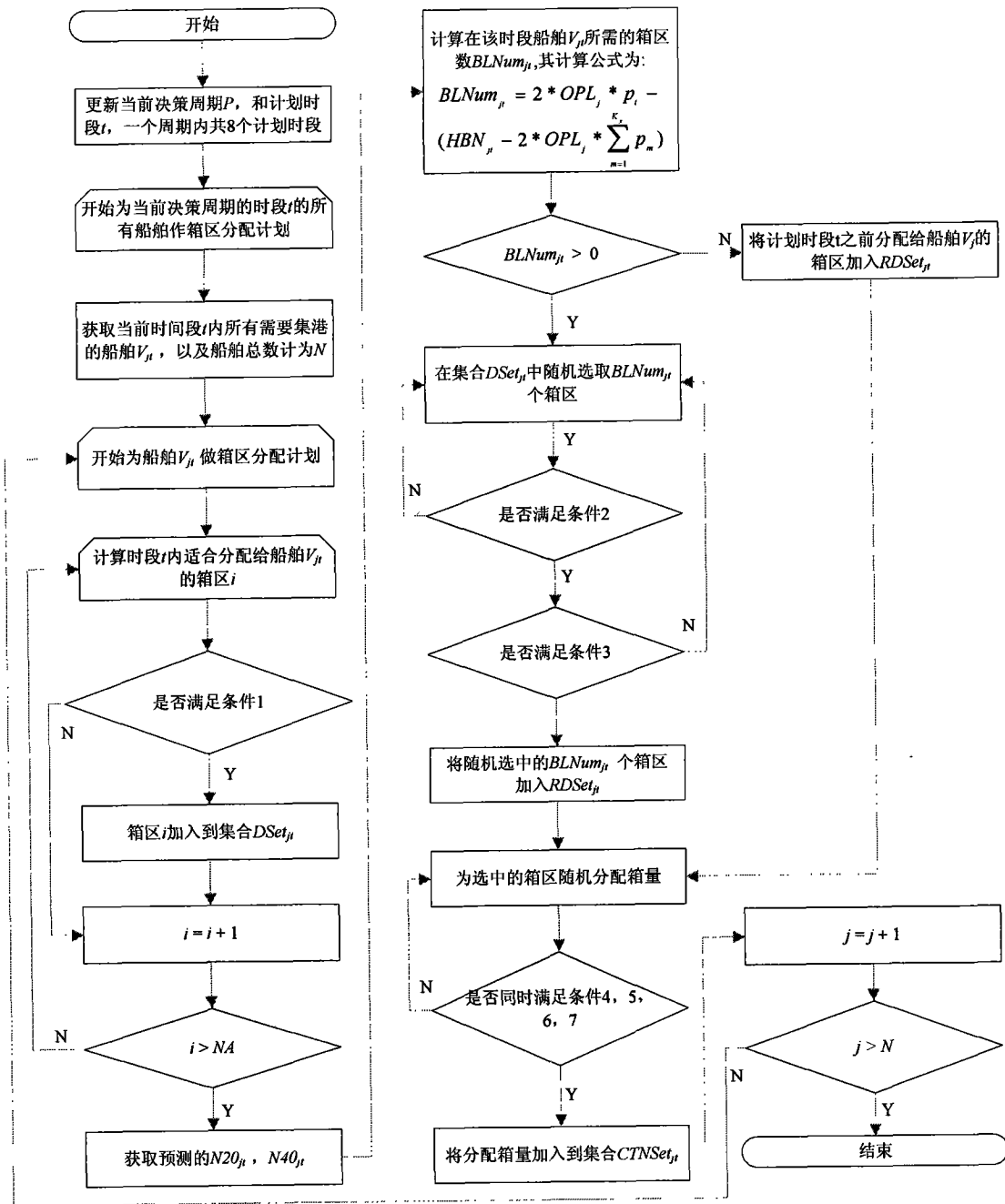


图 18

	染色体1					染色体2				
	基因11	基因12	基因13	基因14	基因15	基因21	基因22	基因23	基因24	基因25
船舶编号	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
箱区分配	1213	2223	32	13	34	2533	45	35	3726	53
20尺箱	4045	3842	12	25	31	2325	37	28	2120	46
40尺箱	2119	1823	20	38	36	2214	24	22	1523	28

图 19

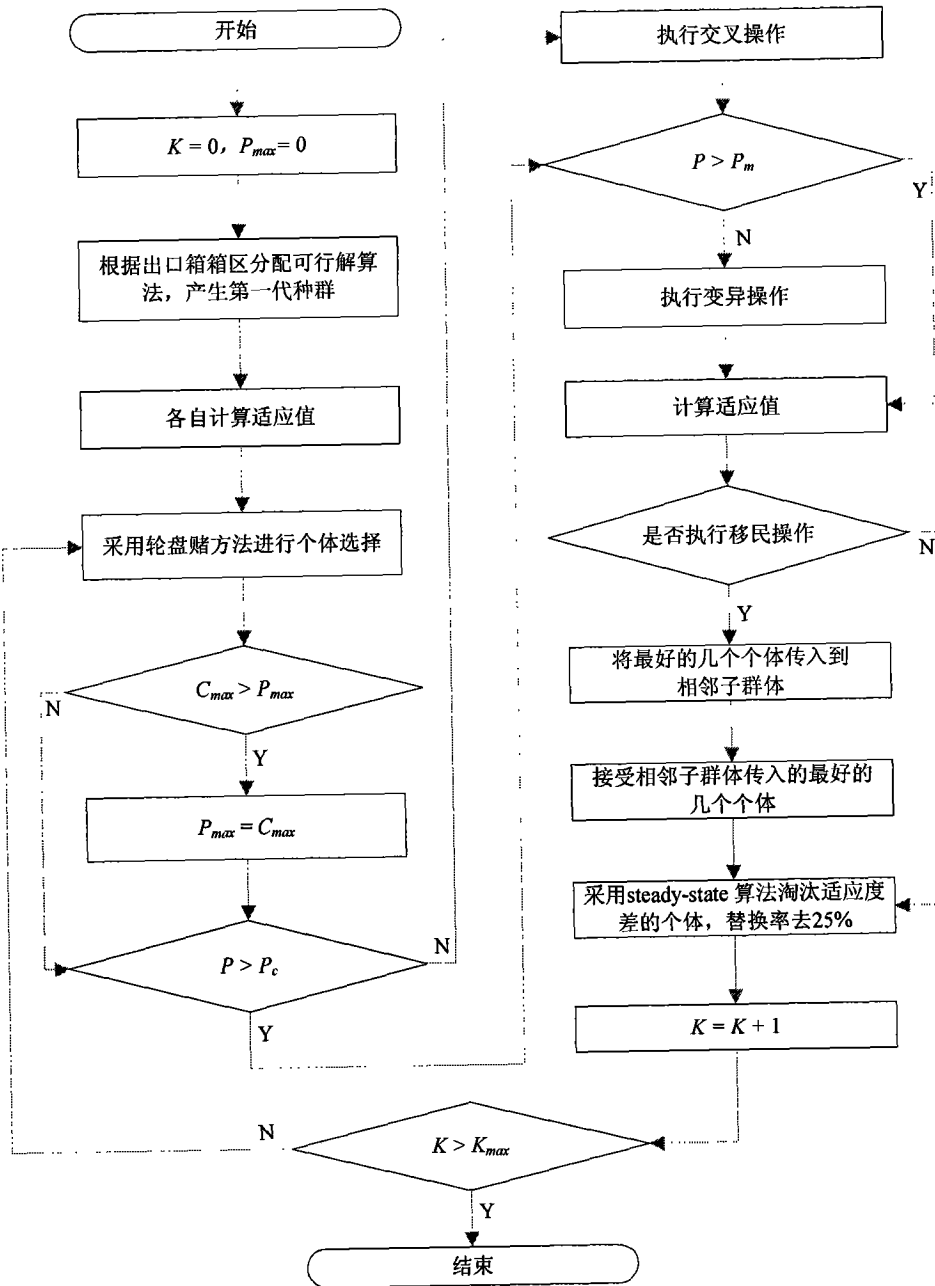


图 20

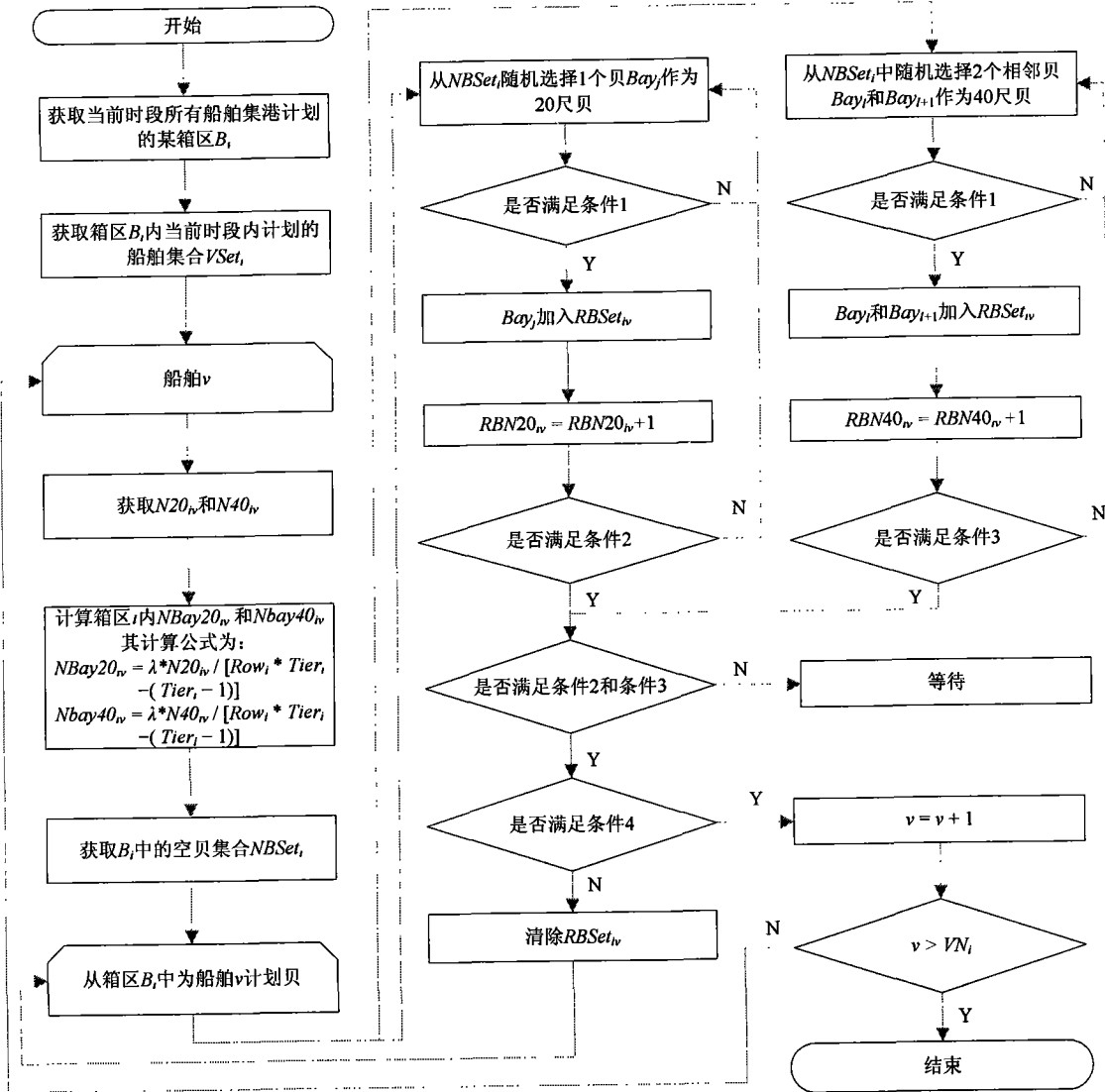


图 21

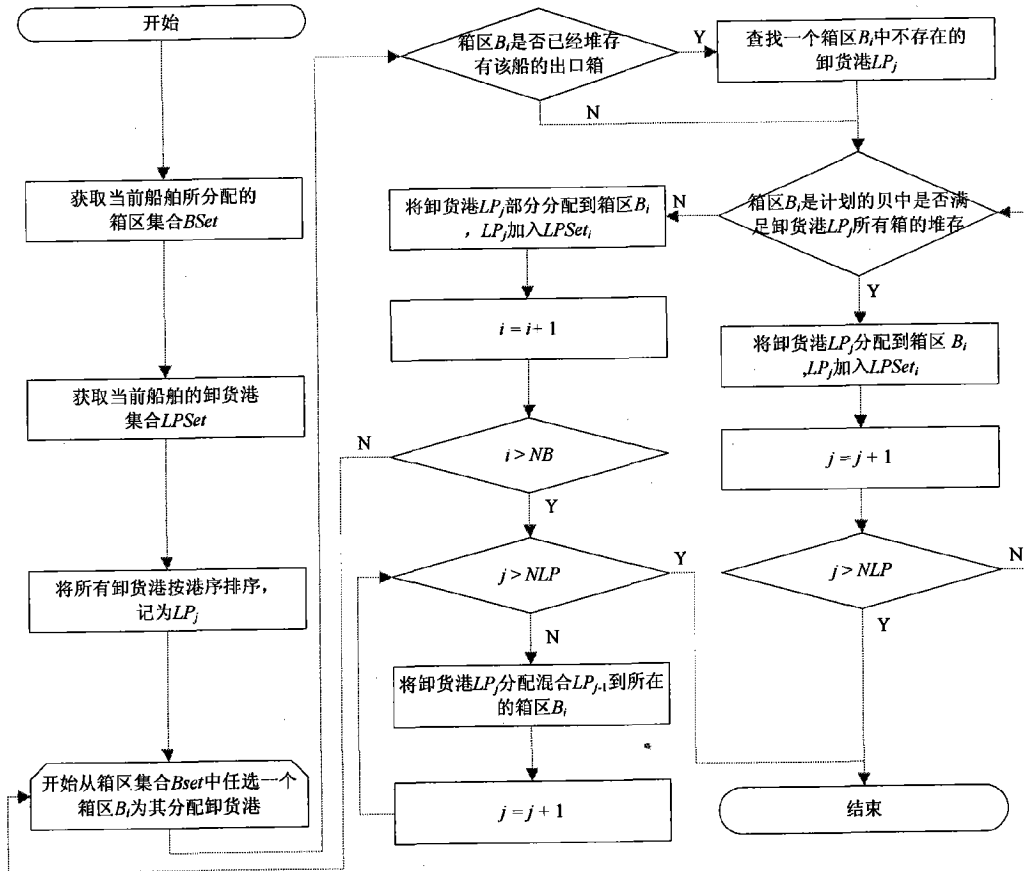


图 22

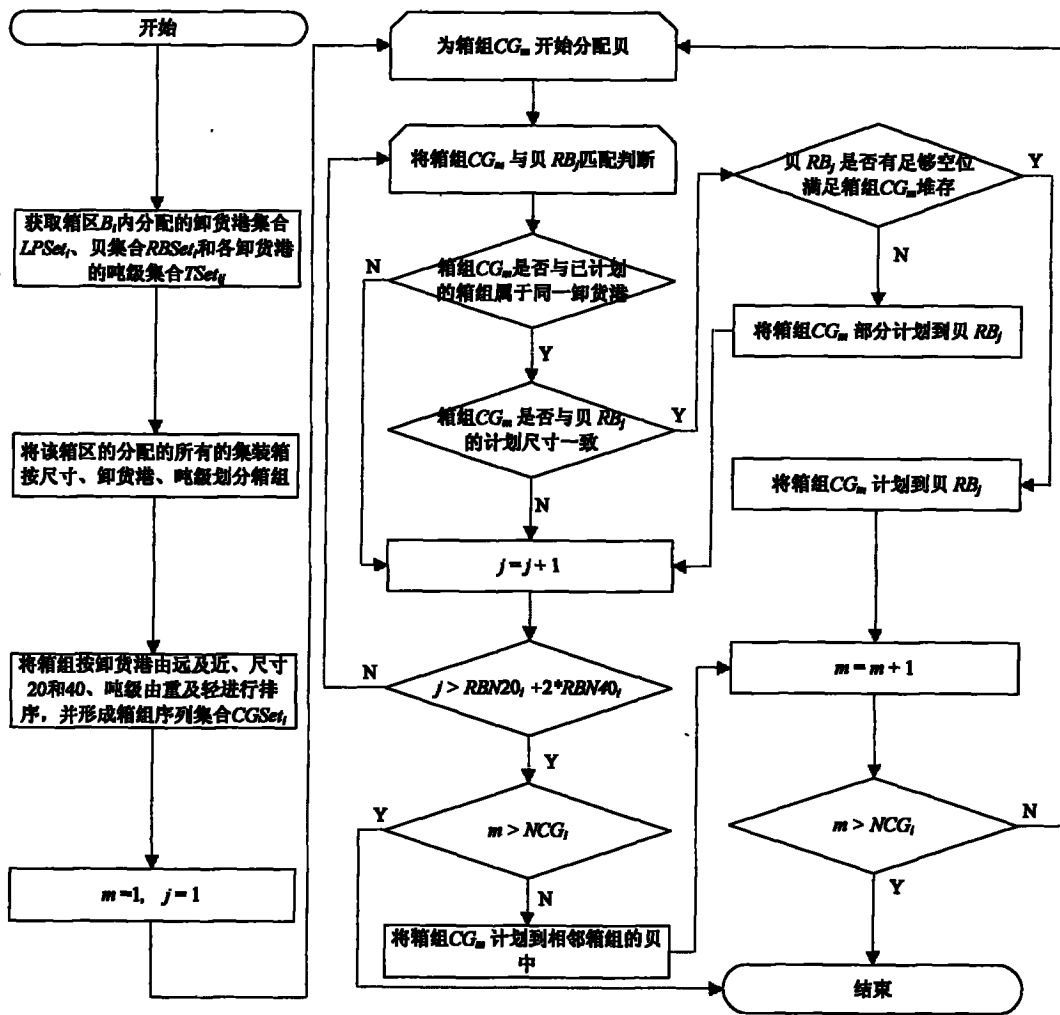


图 23

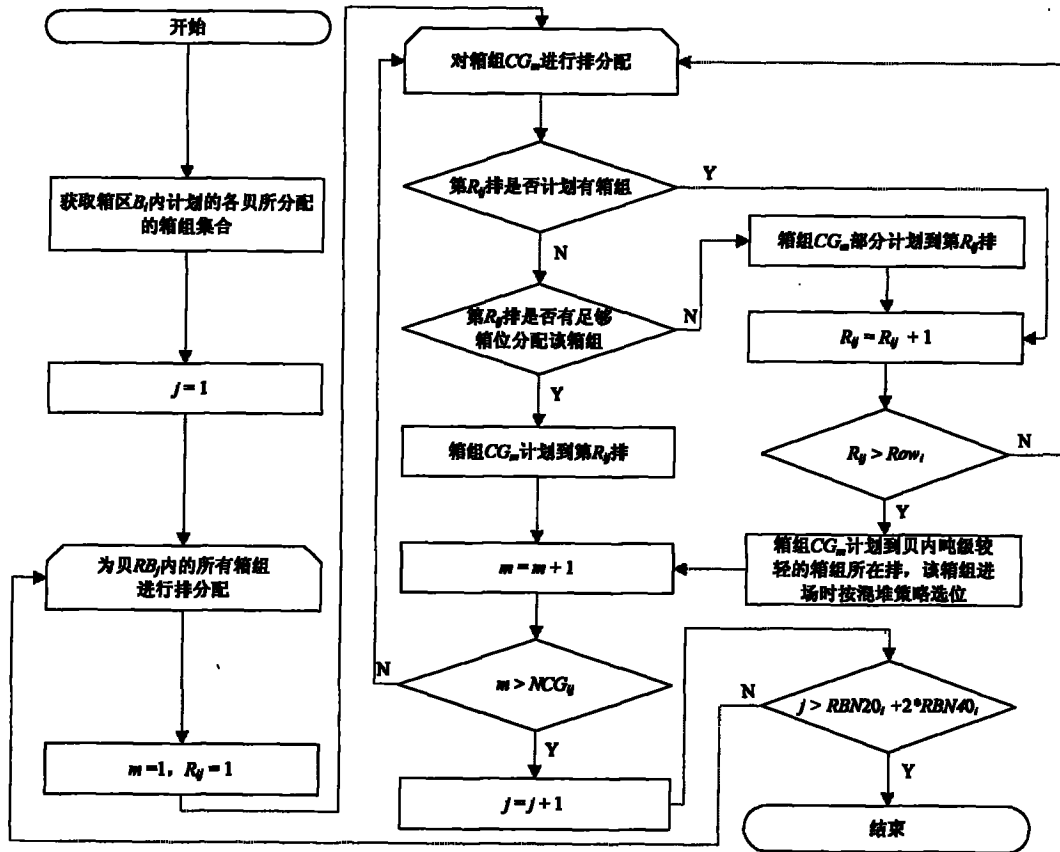


图 24

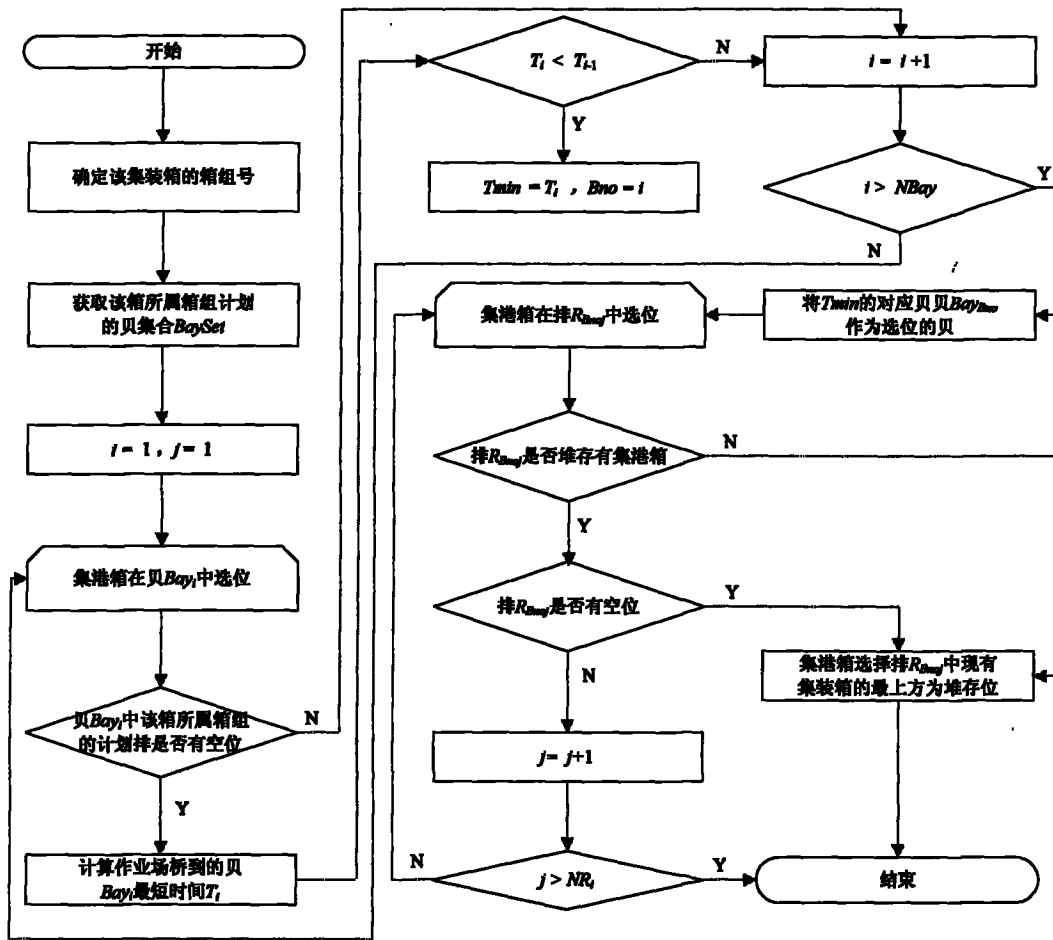


图 25

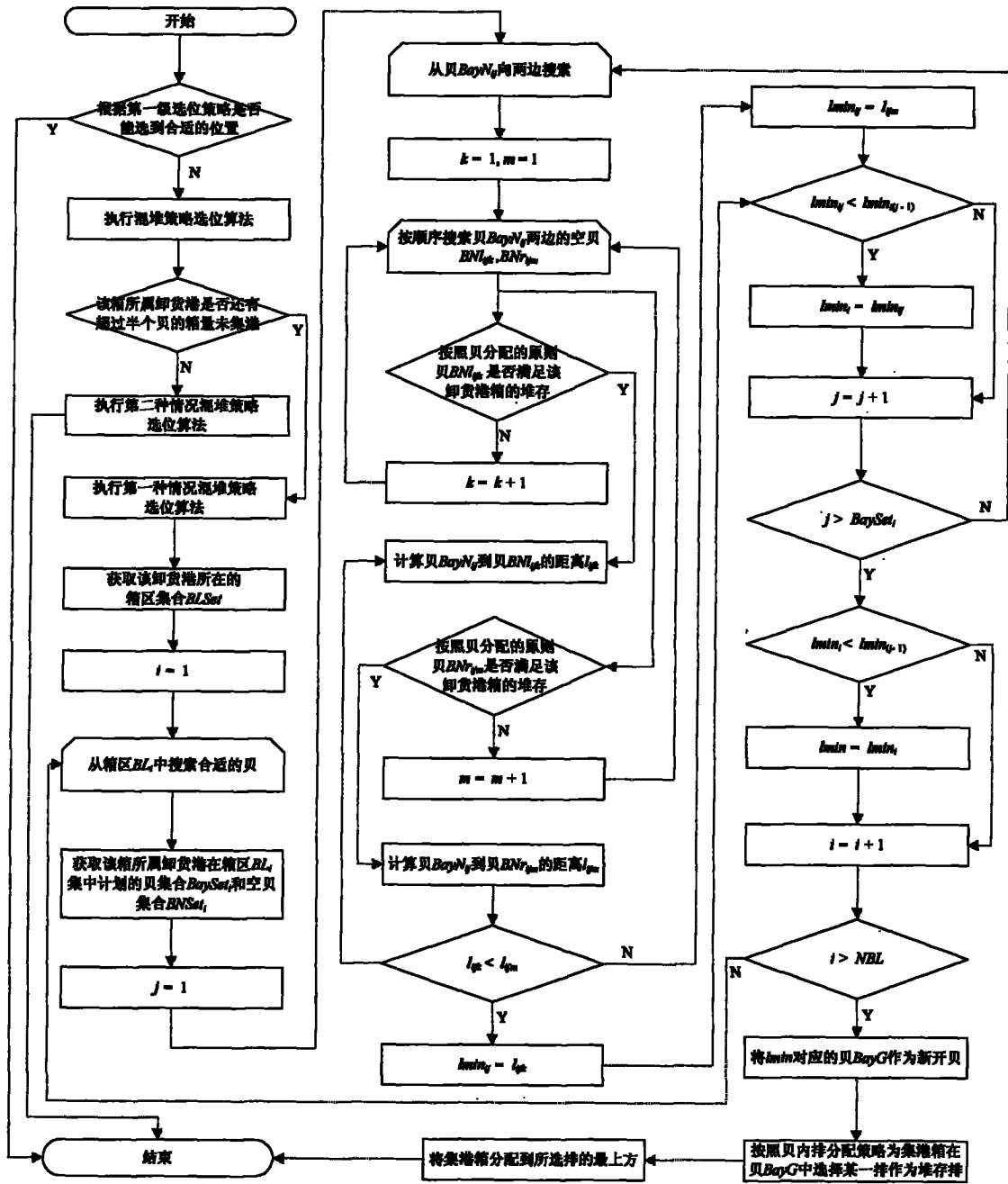


图 26

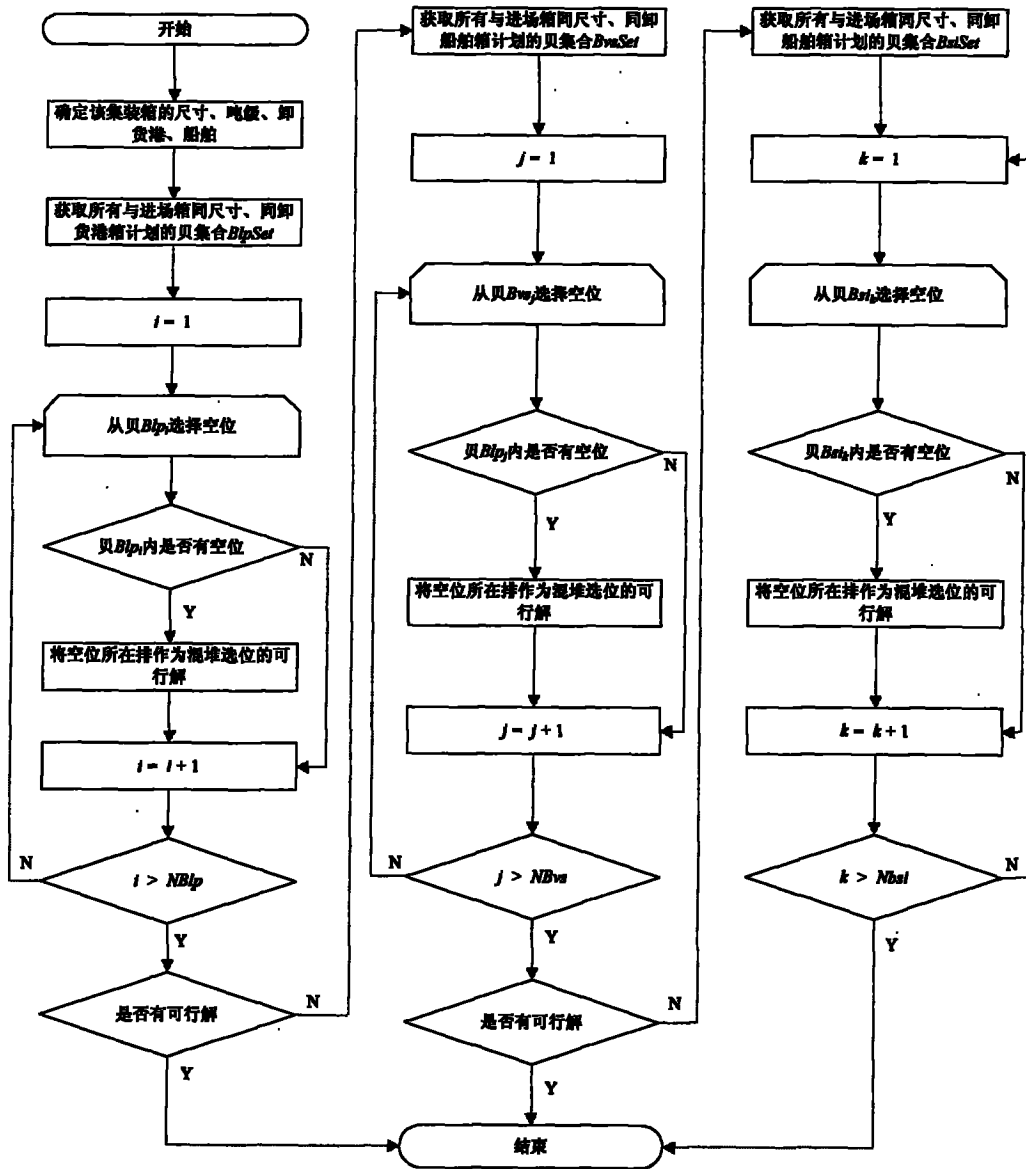


图 27

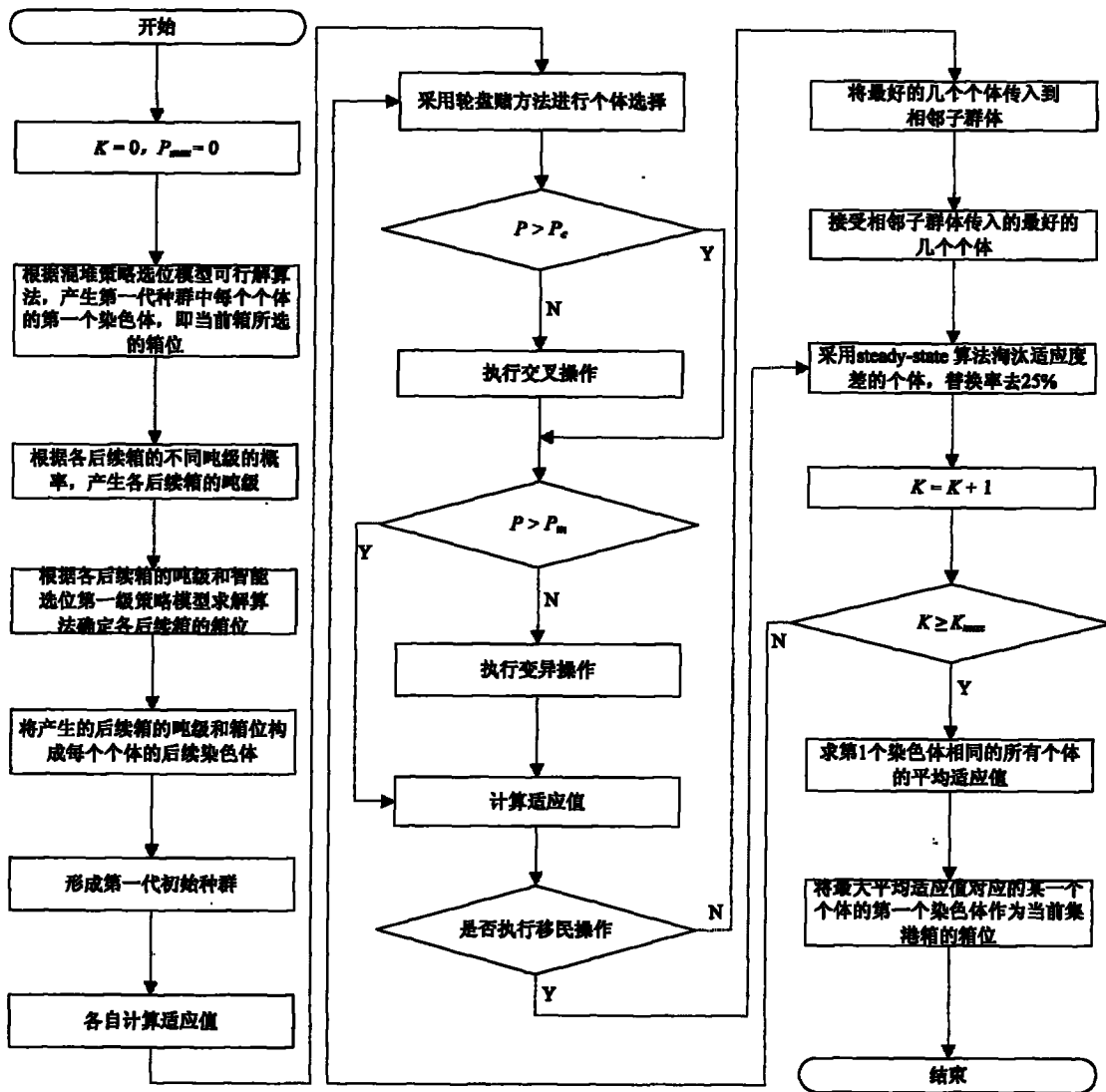


图 28