

集装箱枢纽港主辅码头间靠泊决策的协同优化

靳志宏¹, 邱波^{1,2}

(1. 大连海事大学交通运输管理学院, 辽宁 大连 116026;
2. 中远(香港)航运有限公司, 香港 999077)

摘要:近年来集装箱枢纽港码头拥挤问题日益突出, 船舶等泊时间的延长导致船公司经营成本增加, 尤其对于经营支线运输的船公司而言更是如此。鉴于此, 船公司在拥挤的集装箱枢纽港码头附近设置趸船或驳船作为辅助码头来停泊箱量较小的船舶, 通过建立缓冲区以减少等泊时间及降低停泊费用。本文从集装箱支线运输公司经营人的角度, 首次提出了集装箱枢纽港主辅码头间的靠泊决策的协同问题, 基于泊位调度理论建立了靠泊决策的协同优化模型, 并用改进的遗传算法求解。仿真实验定量分析并证实了设置浮动码头对集装箱支线运输公司减少等泊时间及降低成本的有效性。

关键词: 决策协同; 泊位调度; 枢纽港; 浮动码头

中图分类号: U 692.4 **文献标识码:** A

1 引言

随着集装箱运输量的持续增长, 集装箱枢纽港码头拥挤现象日益严重, 致使船舶等泊时间过长、船公司运营成本加大, 尤其对于箱量较小的支线运输公司因其在枢纽港调度中的优先级别低导致其损失更大。鉴于此, 某些支线运输船公司在拥挤的集装箱码头使用趸船或驳船作为缓冲区域来处理某些船舶, 以避免过长的等泊时间和昂贵的港口停泊费用。这些趸船或者驳船没有自航能力, 只起到为集装箱码头缓冲的作用, 容量也有限制。装卸到趸船或者驳船的集装箱在随后适当的时间再由港作船周转到主码头。本文统称这种作用的趸船或者驳船为浮码头, 并把浮码头看作主码头(即集装箱码头)的一个特殊泊位。当船公司的船舶到港时, 为该船安排合适的泊位(主码头或者浮码头), 停靠在这个泊位的船舶必须满足一定的约束。这种浮码头的靠泊决策问题可看作是泊位调度问题(Berth Allocation Problem, BAP)的一种特例, 决策目标是使集装箱支线运输公司的所有靠港船舶停泊成本最小。该问

题的特殊性在于浮码头的容量有限, 当浮码头达到上限时, 船舶无法停靠。

BAP 问题是优化码头作业效率的瓶颈问题, 对其的研究由静态到动态, 由单独优化到协调优化均有一些成果。文献[1]针对香港港提出了一种启发式算法提高泊位利用率, 采用先来先服务策略(FCFS)。文献[2]针对静态泊位分配问题提出了启发式方法, 解决两个目标: 服务时间最小化和靠泊船舶满意程度最大化, 其调度决策并非采用 FCFS 策略。文献[3]建立了与船舶到离港时间、泊位作业时间相关的排队网络模型以动态分配码头泊位。文献[4]基于拉格朗日松弛法提出了启发式方法来解决静态、动态码头的泊位分配问题。文献[5]在动态泊位分配问题的基础上扩展了模型, 加入水深和船舶长度等物理约束, 并用遗传算法求出近似最优解。文献[6]在动态泊位分配的基础上引入了不同的服务优先级, 用遗传算法求解。文献[7]针对不确定环境下的集装箱码头各子系统作业进行优化并用多 Agent 技术加强系统整体协调性, 其中建立了泊位一岸桥联合分配模型, 并采用多种启发式方法优化。文献[8]则针对连续泊位调度问题提出了泊位和吊桥资源的整数规划模型。文献[9]提出设立副码头来解决拥挤状况, 将等待时间过长的船舶交给副码头来处理, 以服务时间最短为目标参考 BAP 建立数学模型并用改进的遗传算法来求解。

基于上述研究成果, 本文从集装箱支线运输公

收稿日期: 2010-10-22; 修订日期: 2011-06-28

基金项目: 教育部博士学科点专项基金(20070151002); 辽宁省自然科学基金(20082141)

作者简介: 靳志宏(1963-), 男(汉族), 辽宁省人, 大连海事大学交通运输管理学院, 教授, 博士生导师, 研究方向: 物流系统优化。

司经营人的角度,首次提出了集装箱枢纽港主辅码头间的靠泊决策的协同问题,基于泊位调度理论建立了靠泊决策的协同优化模型,并用改进的遗传算法求解。仿真实验定量分析并证实了设置浮动码头对集装箱支线运输公司减少等泊时间及降低成本的有效性。

2 问题描述

本文所称的浮码头,是停靠在主码头附近,没有自航能力、充当缓冲泊位的趸船和驳船的总称。在珠江三角洲的枢纽港香港及深圳港,一些船公司都有自己的浮码头,这些枢纽港码头的船舶压港现象严重、且收费较高。由于某些较小的集装箱支线运输船舶载箱量较小,停泊香港码头操作费用较大、成本太高;或者由于船舶等待时间过长,在浮码头集装箱容量满足的前提下,船公司可以将合适的船舶安排到浮码头停泊,将其集装箱先卸到浮码头上,卸到浮码头的集装箱要等待港作船直接中转到支线港,或者待枢纽港码头空闲时再将集装箱转移到主码头。港作船是服务于主码头和浮码头之间的小容量船舶,随时将浮码头上的集装箱运到主码头上,需要中转的则直接运到附近的支线港。这种操作模式给支线船公司减少了成本,并且减少了其在枢纽港码头停泊船的排队等待时间。但是由于浮码头容量有限,需要港作船不停地将浮码头上的集装箱运出。

港作船维持一定的速度中转,在一定中转周期内,如何安排合适的到港船舶停泊,才能使总成本最低,是本文要解决的问题。

本文考虑的船舶停靠在浮码头的条件有两个:

(1) 船舶要装卸的集装箱运输量较小,停泊主码头产生的成本较高。这里面包括两种情况:一种是运输箱量较小,靠泊主码头费用较高,导致单个集装箱运输成本较高,通过港作船运输停泊费用小,成本较低;另一种情况是集装箱需要通过主码头中转到附近支线港,集装箱数量较小,可以通过港作船中转节省成本。

(2) 主码头拥挤,船舶等泊时间过长。在满足浮码头容量的情况下,将等待过长的船舶先用浮码头处理,节省时间和船舶等待造成的成本。

停靠在浮码头的集装箱最终要通过港作船运输到目的码头上,停靠浮码头的集装箱虽然节省了费用,但是也产生了相应的费用,

表 1 描述了利用浮码头所增加和减少的费用项目。可以看出,当集装箱通过主码头中转时,通过浮码头代替主码头中转到附近小港口会节省较多费用,而如果目的港是主码头,使用浮码头是否会减少总费用则取决于主码头的等待成本,即船舶要等待的时间过长产生的成本。安排不同船舶停靠浮码头所增加和减少的费用不同,只有做出正确的靠泊决策,船舶的运营费用才能减少。

表 1 使用浮码头时费用变更情况

运输类型	增加费用(+)	减少费用(-)
目的港为主码头	浮码头的装卸(存储)费用	主码头的船舶停泊费用 主码头的等待成本
	从浮码头到主码头的行驶费用 在浮码头的装卸翻箱费用 2 次	
通过主码头中转	浮码头的装卸(存储)费用	主码头船舶停泊费用 主码头装卸费用 2 次 主码头的等待成本
	在浮码头的装卸翻箱费用 2 次	

3 主辅码头的靠泊协调优化模型

3.1 基本条件

将浮码头看作一个泊位,主码头则看作另一个泊位,船舶到港时在主码头和浮码头之间做出靠泊选择,可以看作是两个泊位的泊位调度问题。通常的泊位调度问题的目标是从提高港口效率出发,而由于浮码头归某船公司所有,目标在于最大限度地减少船舶费用,即该船公司所有船舶总停泊费用最小。由于是从船公司的角度出发,在主码头的停泊等待时长不能控制,只能作为外部条件来影响决策。

另外,浮码头有容量限制,这也跟以往的泊位调度问题不同。

关于主辅码头的靠泊协调优化模型基本假设条件如下:

- (1) 所有的船必须停泊且只停泊一次,不能移泊;
- (2) 浮码头不能同时服务两艘以上船舶;
- (3) 浮码头上容纳的集装箱量不能超过浮码头自身的容量。

3.2 符号说明

船舶停靠港口产生的相关费用很多,根据上述

对主、辅码头费用差异分析将费用简单分为港口使费和装卸相关费用, 相应模型参数如下:

C_1 : 船舶停靠在主码头的港口使费, 即船舶停靠主码头产生的费用;

C_2 : 主码头的装卸相关费用;

C_3 : 停靠浮码头装卸和翻箱产生的费用;

C_4 : 港作船的运行费用, 即从浮码头将货物再运输到主码头的费用;

C_5 : 船舶等泊造成的成本消耗;

V : 锚地中等待船舶集合;

V_1 : 运输集装箱的目的地为主码头的船舶 $V_1 \in V$;

V_2 : 运输的集装箱需要通过主码头中转到附近港口的船舶 $V_2 \in V - V_1$;

A_j : 船舶 j 到达锚地时间, $j \in V$;

H_j : 船舶 j 装卸时间, 由集装箱量和浮码头装卸效率计算可得;

TN_j : 船舶 j 要卸载的集装箱量;

ST : 决策区间开始时刻;

OT : 港作船集装箱运出的效率(TEU/H);

TC : 浮码头的存储容量上限(TEU);

决策变量包括:

$$x_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{船舶 } j \text{ 第 } k \text{ 个靠泊在浮码头} \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

$$j \in V, k = 1, \dots, |V|$$

取决于决策变量的状态变量包括:

y_j : 船舶开始停泊时间。

3.3 主码头与浮码头协调靠泊建模

3.3.1 目标函数

根据表 1 所描述的利用浮码头所增加和减少的费用项目, 当船舶停靠在浮码头时产生的成本包括浮码头的装卸费用, 港作船将箱运到主码头的费用, 还包括在主码头的装卸费用; 停靠在主码头时只产生港口使费和主码头的装卸费用。无论停靠在哪个泊位, 都需要为等待时间花费相应的成本。当船舶是通过主码头中转货物到附近支线港口时, 停靠浮码头时就只需花费浮码头装卸的相关费用, 集装箱不通过主码头中转, 不会产生装卸费用和港作船的相关费用。

因此, 锚地中等待靠泊的船舶集合 V_1 发生的相关费用为:

$$x_{jk}(C_2 + 2C_3 + C_4) + (1 - x_{jk})(C_1 + C_2) + C_5(y_j - A_j) \quad (1)$$

锚地中等待靠泊的船舶集合 V_2 发生的相关费

用为:

$$x_{jk} \cdot 2C_3 + (1 - x_{jk}) \cdot (C_1 + 2C_2) + C_5 \cdot (y_j - A_j) \quad (2)$$

如果用一个参数 $\alpha, j \in V$ 来区别对待上述两种情形, $\alpha = 0$ 表明 $j \in V_1$, 而 $\alpha = 1$ 表明 $j \in V_2$, 则船舶靠泊决策协调优化模型的目标函数为:

$$\text{Min } Z = \alpha [x_{jk}(C_2 + 2C_3 + C_4) + (1 - x_{jk})(C_1 + C_2) + C_5(y_j - A_j)] + (1 - \alpha)[x_{jk} \cdot 2C_3 + (1 - x_{jk})(C_1 + 2C_2) + C_5(y_j - A_j)] \quad (3)$$

相应的约束条件为:

$$0 \leq \sum_{j \in V} \sum_{k=1}^{|V|} x_{jk} TN_j - x_{jk}(y_j - ST) OT \leq TC \quad (4)$$

$$\sum_{j \in V} x_{jk} \leq 1, \forall k \in O \quad (5)$$

$$\sum_{k \in O} x_{jk} = 1, \forall j \in V \quad (6)$$

$$y_j - A_j \geq 0, \forall j \in V \quad (7)$$

$$x_{jk} x_{j'k+1} (y_j + H_j - y_{j'}) \geq 0, \forall j, j' \in V \quad (8)$$

约束(4)表明当前停靠在浮码头的第 k 条船舶 j 上的集装箱容量不能超出浮码头本身的容量, 其中, $\sum_{j \in V} \sum_{k \in K} x_{jk} \cdot TN_j$ 为船 j 停靠时已经卸在浮码头的集装箱总量; 鉴于港作船和支线船不停将浮码头的集装箱运出, 并维持一定的运输效率, 因此, $(y_j - ST) \cdot OT$ 表示到船 j 停泊时输出的集装箱总量, $\sum_{j \in V} \sum_{k \in O} x_{jk} \cdot TN_j - x_{jk} \cdot (y_j - ST) \cdot OT$ 为当前储存量, 该值不能超出浮码头的容量上限。同样地, 运出量也不可能大于卸货量。式(5)表示一个船舶不能停泊两次以上。式(6)表示对每条船舶都要进行调度处理。式(7)表明船舶到达后才能被服务。式(8)保证了两艘先后停靠在浮码头的船舶服务时间不重叠, 即浮码头一次只能服务一艘船。

4 模型求解

4.1 改进的遗传算法

本文用改进的遗传算法来求解上述问题。遗传算法已被证实用来解决现实规模的 NP 难题比较有效。本文在经典的遗传算法上做了部分改进来求解上述模型。

Step1: 随机生成初始群体, 计算适应度函数值。

Step2: 如果当代群体中的最优个体已经达到最优水平或者迭代次数已达到最大限制, 则停止计算, 当代的最优解为所求; 否则, 执行下一步。

Step3: 用轮盘赌方法选取选取一定数量的种群

做 0-1 变异操作, 保留子代个体, 计算当代最优解。

Step4: 更新存储单元: 如果当前解优于存储单元中的解, 则更新存储单元的解为当代最优解, 如果当代解出现退化现象, 则用存储单元的最优解替换当代的任意解。执行 step2。

4.2 双层编码描述染色体解的信息

本文采用双层编码来表达染色体个体。上层代表停泊决策, 即停靠在主码头还是浮码头, 采用 0-1 染色体编码, 0 代表停靠主码头, 1 代表停靠浮码头, 下层编码则代表停靠在浮码头上的停泊顺序。编码长度等于所有船舶数量。如下图所示:

停泊泊位	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1
停泊顺序	0	2	1	0	3	0	4	0	0	5
船舶编号	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#	9#	10#

图 1 双层编码

染色体编码长度等于船舶的数量。如图中所示, 编号从 1 到 10 的船舶, 第 2#、3#、5#、7#、10# 停靠在浮码头上, 停泊顺序则依次为 3#、2#、5#、7#、10#, 由于主码头是外部条件, 停靠在主码头的停泊顺序不是由船公司能调控的, 在求解时不体现在编码上, 停靠在主码头的等待时间和处理时间作为客观常量。上层编码中所有船停泊泊位确定后, 可以计算出所有船舶装卸费用、停泊费用和主码头的等待成本, 下层编码中停靠在浮码头的船舶停泊顺序则决定了这些船舶等待成本大小。每个上层编码对应的下层编码是此泊位协调决策下的最优停泊顺序。上层编码参与遗传算法中的变异操作, 下层编码则在先到先服务规则基础上用局部改进算法求得最优解。

4.3 0-1 变异操作

靠泊泊位的决策是在主码头和浮码头两者之间做出选择。上层采用 0-1 编码, 在遗传操作时不采用传统的交叉操作, 直接采用变异。变异时随机选取一定数量的单个的基因进行 0-1 变异。本文中变异规模即随机选取的变异个体数量在 $0 - \frac{1}{2}l$ (l 为染色体长度) 中选取, 在选中的变异个体中, 随机选取若干个基因位, 将该基因位上的编码进行 0, 1 互换。上层基因编码改变后, 下层编码代表的最优停泊顺序也随之改变。

4.4 浮码头停泊顺序决策

遗传操作中的 0-1 变异只改进每艘船的停泊

泊位决策, 如上文所述, 泊位决策确定后, 停靠在主码头的船舶装卸、停泊、等待成本已经确定, 停靠在浮码头的装卸、停泊费用也已确定, 唯一不确定的是停靠在浮码头的船舶等待成本, 等待成本由等待时间决定, 即所有船舶的总等待时间, 而船舶停泊顺序决定船舶等待时间。浮码头停泊没有物理约束, 装卸效率一定, 所以本文采用先来先服务策略确定停泊顺序, 在此基础上进行局部搜索法改进取得最优近似解。具体如下:

Step1: 将停靠在浮码头上的船舶按船舶到达时间从小到大排序, 局部搜索的次数 $t = 1$ 。

Step2: 随机抽取某艘船舶开始进行近邻搜索, 交换其附近两艘船舶的停泊顺序, 如果总等待时间减少, 则交换这两艘船的停泊顺序, 否则维持原来停泊顺序, 进行下一步。

Step3: 依次交换下一个相邻的两个船舶的停泊顺序, 如果在近邻中找不到更好的排序解, 则该解为局部最优解。

Step4: 如果局部搜索达到规定最大次数, 则停止, 否则 $t = t + 1$, 执行 Step2。

上述算法在随机生成初始解和变异后执行, 即一旦上层停泊决策更改, 下层的顺序也会随之更改。

5 仿真实验

5.1 仿真算例

深圳 W 公司是一家从事珠江三角洲地区集装箱支线运输的企业, 基于该企业的实际情况进行模拟调度。

设定驳船的容量为 140TEU, 船舶到达时间间隔呈指数分布, 平均时间间隔为 2.55, 要装卸的集装箱量从 1~20TEU 随机生成。同时, 船舶停靠在深圳港主码头的等待时间在 4~18 小时随机生成。船舶通过主码头中转和停靠在主码头的船舶数量比例分别为: (1) 7: 3, (2) 5: 5, (3) 3: 7。船舶数量设置为 50, 75, 100, 共组成 9 组数据。

船舶费用参考“国际航线集装箱港口费收办法”, 一般集装箱船舶停靠会产生许多费用, 包括领航费, 系解缆绳费, 港务费, 停泊费, 开关舱费, 船舶装卸费用等。本文将领航费, 系解缆绳费, 港务费用等统一为港口使费, 船舶每停泊一次就产生相关费用, 停靠在浮码头时则不产生此费用。另外, 加收主码头的装卸费用, 按每箱次单位计量计算, 主码头的装卸费用比浮码头的装卸费用略高, 停滞成本根据时间计算。

本文先计算没有浮码头作为缓冲区域时该公司所有船舶的停泊费用, 然后, 再考虑设置浮码头时的相应费用, 运用改进的遗传算法方法求解设置浮码头后的与主码头的靠泊协调决策问题, 通过设置浮码头前后的结果对比, 以量化分析浮码头的使用减少的船舶的成本。

5.2 结果分析

本实验中遗传算法的种群规模设为 500, 最大迭代次数 1000。采用 C++ 语言对上述算法进行编程, 在 2.53GHz 双核处理器个人电脑运行, 三种规模情形下均在 60~90 秒内收敛到了近似最优解。表 2 给出了仿真结果间的对比情况。

由表 2 可以看出, 对于中转船舶比例分别为 30%、50%、以及 70% 所有三种情形, 通过浮动码头中转船舶的等待时间和运输成本都有了不同程度的

减少, 而且, 通过主码头中转的船舶数量比例越高, 总的运输费用降低的越多, 这也表明浮码头作为缓冲区域对于中转的集装箱来说不仅减少船舶等待时间, 也减少了运输成本。

对于相同中转比例的情形, 可以看出, 设置浮动码头的效益并非随着靠泊浮动码头的船舶数量的增加而增加, 这可以用随着靠泊数量增加浮动码头的拥挤导致等待时间过长来解释。因此, 也从一个侧面反映了主码头与浮动码头之间协调调度优化的必要性。

另外, 通过仿真比较结果还可以得知, 不论是哪一种情形, 设置浮动码头成本降低的幅度与趋势并不是与等待时间的降低的幅度与趋势一致。因此, 主码头与浮码头之间的协调调度优化还取决于调度者对成本与时间的重视优先级。

表 2 设置浮码头的效果比较

中转船舶比例	30%			50%			70%			
船舶总数量	50	75	100	50	75	100	50	75	100	
停靠浮码头数量	21	32	33	18	28	47	25	38	42	
无浮码头	运输成本	66779.5	101976.2	138290.7	70541.5	107965.7	147002.4	73561.4	113658.2	156110.7
	总等待时间	461.7	690.7	940.3	461.7	690.7	940.3	461.7	690.7	940.3
有浮码头	运输成本	59427.1	94595.6	127943.4	63744.4	97605.7	135645.3	59555.4	97829.1	133964.5
	总等待时间	201.7	390.4	614.9	236.4	428.3	597.4	244.7	437.5	585
成本减少	11.0%	7.2%	7.5%	9.6%	9.6%	7.7%	19.0%	13.9%	14.2%	
等待时间减少	56.3%	43.5%	34.6%	48.8%	38.0%	36.5%	47.0%	36.7%	37.8%	

6 结语

本文根据集装箱枢纽港码头现有的拥挤状况, 设计用驳船(浮码头)作为主码头的缓冲区域, 并担当中转的集装箱的中转地。从集装箱支线运输公司经营人的角度, 首次提出了集装箱枢纽港主辅码头间的靠泊决策的协同问题, 基于泊位调度理论建立了靠泊决策的协同优化模型, 并用改进的遗传算法求解。基于现实设计的仿真实验得出如下有意义的结论:

(1) 随着中转船舶比例的提高, 设置浮动码头所带来的效益亦越大;

(2) 对于相同中转比例的情形, 设置浮动码头的效益并非随着靠泊浮动码头的船舶数量的增加而增加;

(3) 设置浮动码头成本降低的幅度与趋势并不是与等待时间的降低的幅度与趋势一致, 调度决策需要权衡费用与时间。

本文是从集装箱支线运输公司经营人的角度提出了集装箱枢纽港主码头与浮码头间的靠泊决策的

协同问题, 对于集装箱支线运输公司而言, 集装箱枢纽港状况是模型输入的外部条件, 不能由船公司调控。因此, 进一步的研究将集中在集装箱支线运输公司与集装箱枢纽港在调度信息共享下的主码头与浮码头之间的协调调度优化问题, 从而实现集装箱支线运输公司与集装箱枢纽港的“双赢”。

参考文献:

- [1] Lai, K. K., Shin, K.. A study of container berth allocation[J]. Journal of Advanced Transportation, 1992, 26(1): 45-60.
- [2] Imai, A., Nagaiwa, K., Chan, W. T.. Efficient planning of berth allocation for container terminals in Asia [J]. Journal of Advanced Transportation, 1997, 31: 75-94.
- [3] Legato, P., Mazza, R. M.. Berth planning and resources optimization at a container terminal via discrete event simulation[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 133(3): 537-547.
- [4] Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S.. The dynamic berth allocation problem for a container port [J].

- Transportation Research, 2001, Part B, 35: 401– 417.
- [5] Nishimura, E., Imai, A., Papadimitriou, S.. Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms [J]. European Journal of Operational Research, 2001, 131, 282– 292.
- [6] Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S.. Berth allocation with service priority. Transportation Research 2003, Part B, 37: 437– 457.
- [7] 周鹏飞. 面向不确定环境的集装箱码头优化调度研究 [D]. 大连理工大学博士论文, 2005.
- [8] 韩晓龙, 丁以中, 集装箱港口泊位配置优化[J]. 系统工程理论方法应用, 2006, 15(3) : 275– 278.
- [9] Imai, A., Nishimura, E., Papadimitriou, S.. Berthing ships at a multi- user container terminal with a limited quay capacity[J]. Transportation Research, 2006, Part E: 10, 1016.

The Coordinated Optimization on Berthing Containerships between the Dock and Pontoon in a Regional Hub Port

JIN Zhi Hong¹, QIU Bo^{1,2}

(1. College of Transportation Management, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

2. COSCO (Hong Kong) Shipping Co. Ltd., Hongkong 999077, China)

Abstract: The dock congestion has been becoming increasingly outstanding problem in a regional hub port, which results in the accessorial operational cost, especially for a feeder line shipping company. To reduce the waiting times in the hub and lower the operational cost, some feeder line container transportation companies try to set bulk barges, close to the hub port, as floating container terminal to berth smaller containerships. This paper proposes the coordinated optimization on berthing containerships between the main dock and pontoon in a regional hub port, from a viewpoint of a feeder line shipping company. A coordinated berthing decision optimization model is proposed based on berth allocation problem and a modified genetic algorithm is developed. The simulation tests quantitatively analyzes the countermeasure against dock congestion and shows its effectiveness.

Key words: coordinated decision; berth allocation; hub port; pontoon