

三峡-葛洲坝联合调度系统闸室编排快速算法

孙波, 齐欢, 张晓盼, 蔡霄

(华中科技大学系统研究所, 湖北武汉 430074)

摘要:三峡-葛洲坝两坝联合调度系统是用于提高三峡-葛洲坝航道通航能力的一套系统。两坝联合调度的计划编排是一个与闸室编排相耦合的时间表问题。闸室编排可以用二维 Packing 模型来描述, 是一个典型 NP 完全问题。提出一种基于分步降维思想的启发式快速编排算法, 该算法把闸室编排二维 Packing 问题降到一维求解, 有效解决三峡-葛洲坝联合调度的计划编排中与闸室编排相耦合的时间表问题。该算法在实际工程应用中取得了良好的效果, 有效地提高了闸室面积利用率。

关键词:三峡-葛洲坝; 通航调度; 闸室编排; Packing 问题; 降维快速算法

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2006)12-0019-03

Dimensionality Reduction Quickly Arranging Algorithm of Lock Chambers in Co-Scheduling of Three Gorges Dam and Gezhouba Dam System

SUN Bo, QI Huan, ZHANG Xiao-pan, CAI Xiao

(System Eng. Inst., Huazhong Univ. of Sci. and Techn., Wuhan 430074, China)

Abstract: The co-scheduling of the Three Gorges Dam and the Gezhouba Dam System is a system used to improve the efficiency of navigation. The plan-arranging part of the co-scheduling system is a calendar problem that is coupling with lock chambers arranging and scheduling. The arranging and scheduling of lock chambers is described with a mathematical model of tow-dimension Packing problem, which is a typical NP totality problem. An improved dimensionality reduction quickly arranging algorithm that based on the thought of sub-step dimensionality solves the tow-dimension Packing problem with the sub-step dimensionality method. It is proved that this algorithm finds an effective way to solve the calendar problem that is coupling with lock chambers arranging and scheduling in the plan-arranging part of the co-scheduling of the Three Gorges Dam and the Gezhouba Dam System. It is proved to be improving the area utilization ration effectively and getting the purpose in the practical engineering.

Key words: Three Gorges Dam and Gezhouba Dam; navigation scheduling; arranging of lock chambers; Packing problem; dimensionality reduction quickly arranging algorithm

0 引言

长江三峡河段(庙河至中水门)全长 59km, 是三峡-葛洲坝梯级枢纽所在的航道。这一段是长江航道“黄金水道”的咽喉部分。由于三峡-葛洲坝梯级枢纽是一个有机的整体, 因此必须对三峡船闸与葛洲坝船闸实行统一的行业调度管理体制, 以提高三峡和葛洲坝枢纽的船闸通过能力, 综合管理三峡大坝和葛洲坝两大水利枢纽的通航设施, 实现船舶过闸便捷、通畅和有序。

在中国对长江“黄金水道”的开发进程中, 在增强服务意识、提高服务质量与管理信息化科学化的推动下, 研究三峡-葛洲坝通航联合调度的数学模型和求解算法, 开发两坝联合调度的计划编制系统, 是一件十分重要而又紧迫

的工作。

两坝联合调度的计划编制系统采用的工作模式是汇总将要通过三峡、葛洲坝的船舶, 并根据这些船舶过闸信息, 确定各闸室的开闸闸次、开关闸时间以及每闸的船舶位置安排、编制计划表。其中闸室编排算法的性能直接关系到计划编制系统的效率、三峡-葛洲坝的通过能力和水利枢纽的发电能力等一系列重要指标。由于三峡-葛洲坝通航联合调度的计划编制涉及两坝的五个船闸两个航向的计划编排, 需要综合协调两坝的通过能力, 控制各类船舶的待闸时间, 协调葛洲坝三个闸室的均衡, 协调葛洲坝两个航向的闸次的均衡, 控制倒空闸的闸次数等, 寻求整个水利枢纽的畅通性与闸室面积利用率的优化。计划编制总体上是一个时间表问题, 是一个在航行时间和闸室空间上耦合的组合优化问题, 数学模型复杂, 不确定性强, 计算量大, 对计划编制时间限制严格^[1]。因此, 一般迭代优化算法不太适应三峡-葛洲坝通航联合调度计划编制

收稿日期: 2006-03-21

作者简介: 孙波(1981-), 男, 湖北荆州人, 硕士研究生, 研究方向为系统分析与集成; 齐欢, 教授, 研究方向为复杂系统分析与集成。

的要求,非常需要建立快速高效的闸室编排算法。

1 数学模型

闸室编排根据船舶申报时间和权重,将船舶排入闸室,是二维空间上的 Packing 问题^[2]。由于长江航道过往船舶类型多样,随机性强,安排船舶需要同时考虑长江航道通畅和先来先过原则,另外还必须保证部分船舶优先过坝。这就要求算法达到:

(1)使船闸闸室面积利用率尽可能高,提高航道通过能力;

(2)保证先来先过的服务原则同时体现船舶优先级。这两者有时是矛盾的,在三峡-葛洲坝联合调度系统中闸室编排构成一个多目标决策问题,若单考虑闸室编排面积利用率,该问题属于组合优化的二维 Packing 问题。

将船闸简化为一个大的矩形(葛洲坝 3 号闸 118m×17.2m;三峡、葛洲坝 1 号、2 号闸 280m×32.8m),船舶简化为一个小的矩形,因此船舶编排的过程可以简单地化为小矩形填充大矩形的过程(如图 1 所示)。在编排过程中,船舶状态(被选中与否)以及被选中的船舶在闸室内的坐标都将直接影响最终编排结果。

为了保证船舶先来先过原则,同时兼顾船舶优先级,引入了船舶权重。船舶权重采用了层次分析法。权重与船舶类型、船舶隶属、过坝方式、货物种类、待闸时间、通航状态等因素有关。将过闸船舶按其权重排序后得到一个有序的船舶队列。

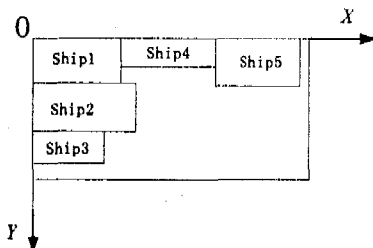


图 1 闸室船舶排列示意图

定义符号如下: a_i 为第 i 艘船的面积, len_i 为第 i 艘船的长度, wid_i 为第 i 艘船的宽度, L 为闸室有效长度, M 为闸室有效宽度, A 为闸室面积, $xlen_i$ 与 $ywid_i$ 分别为第 i 艘船在船闸中以船闸左上角为原点的停泊坐标, m 为已选船舶总数, n 为待选船舶总数。

算法的目标函数是闸室面积利用率最大,即 $\max f$ 。

$$f = \sum_{i=1}^m a_i / A \quad (1)$$

其约束条件:

(1) 选中的船舶能否排下:

$$\sum_{i=1}^m a_i \leq A \quad (2)$$

(2) 每条选中的船舶的尺寸是否合理:

$$0 < len_i \leq L \quad (3)$$

$$0 < wid_i \leq M \quad (4)$$

$$0 < a_i \leq A \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

(3) 选中的船舶放置位置不可与其他船重叠:

设船舶 j 是已选船舶中除以外的任意一艘,则:

$$xlen_i + len_i \leq xlen_j \text{ 或}$$

$$xlen_i \geq xlen_j + len_j \text{ 或}$$

$$ywid_i + wid_i \leq ywid_j \text{ 或}$$

$$ywid_i \geq ywid_j + wid_j \quad (6)$$

由以上的模型可知,这是一个复杂的 NP 问题^[3],没有能求得最优解的多项式时间算法。常用的优化算法分为精确算法和近似算法^[4]。针对三峡船闸编排问题,国内有学者提出了基于贪婪算法的二维优化编排启发式算法^[5],该算法在三峡-葛洲坝联合调度系统的实际运用中存在某些不足之处,文中在此基础上进一步提出了基于分步降维思想的启发式快速编排算法。

2 问题求解

三峡-葛洲坝通航联合调度系统中的闸内编排算法要解决的问题是:在通航能力不足情况下,在保证权重优先和先到先过的原则同时,尽可能地把待排船舶安排到闸室中,以达到最大的船闸面积利用率^[1]。

(1) 基于贪婪算法的二维优化编排启发式算法。

刘云峰等^[5]在闸室编排算法中引入了可排点的概念,定义为放入下一艘船时可以给其安排的位置,可排点由已存在于闸室中的船只决定。该算法本质上是一个局部降维过程,就是将添加船舶的位置限制在若干个点(可排点),这样就将二维的搜索问题简化成了对可排点队列的线性搜索问题,因此大大降低了搜索的时间复杂度,其平均闸室利用率也能达到 75% 以上,总体效果不错。但是在系统实际应用中发现在待排船舶长宽不均匀时,该算法结果还存在不足之处,主要表现在某些闸次的编排效果不够理想。例如下列 3 组实测数据(船长×船宽,单位 m):

a. 8 艘船: 91.2×13.8, 92×14, 76×13.6, 100×16.55×11.53×11.52×11.43×7

b. 8 艘船: 50×15, 79×14, 76×12, 60×11, 87×14, 73×13, 76×11, 49×10

c. 6 艘船: 95×27, 86.5×16.2, 63×10, 79×15, 66×11, 59×10

该算法编排结果如图 2 所示。

上层方框内浅色的船表示排入闸室的船,下层方框的右下角深色的船表示没有排入。利用基于贪婪算法的二维优化编排启发式算法,在三种情况下,都没有能将需要编排的船舶全部排进闸室,而有经验的计划编制人员利用手工方式,则可以将过闸船舶全部排入闸室。这三组数据说明基于贪婪算法的二维优化编排启发式算法在闸室编排中存在不足。

(2) 降维快速编排算法。

具体分析三峡-葛洲坝船闸特点,闸室尺寸为 280m×32.8m(葛洲坝 3 号闸为 118m×17.2m),长度比宽度大

得多。因此优先考虑闸室在宽度方向上的利用率,有利于提高面积的利用率。具体做法是,首先选取在宽度上利用率较高的若干船舶集,然后在长度方向上进行优化。该方法在工程应用上得到验证。

对大量实测数据进行分析,发现将同一船舶集全部排入闸室有多种方案,即问题有多个可行解。这些可行解中有几条船的相对位置固定,而其它船舶的位置可以有所不同。因此,船舶队列中某些关键船舶的关键位置影响最后结果。将该问题转化为搜索关键船舶的关键位置,而这些关键位置主要跟宽度方向上的优化编排相关。

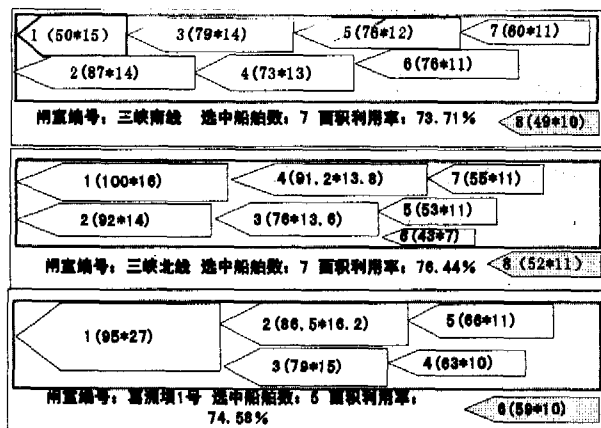


图 2 对 a~c 组数据的启发式算法编排图示

根据拟人法的思想^[6],可以认为在闸室编排的二维 packing 模型中,宽度是优先级较高的一个维度^[7]。因此笔者提出一种基于分步降维思想的启发式快速编排算法。基本思想是先在优先级比较高的维度(闸室宽度)上找出几组优化方案,然后在次要维度(闸室长度)上进行调整来确定关键船舶的关键位置,其它船舶采用二维优化编排启发式算法编排。

算法主要描述如下:

Step1 设待排船舶集为 D , 选取集合 $S: S = \{i \mid \min$

$|W - \sum_{i=1}^m \text{wid}_i|, i \in D\}$, 其中 m 表示选中的船舶数, $0 < m \leq n$ 。

Step2 将 S 中的船舶按长度优先排入闸室最左边。即:

$\text{len}_1 \geq \text{len}_2 \geq \dots \geq \text{len}_m$

Step3 在 $D \setminus S$ 中选取集合 $O, O = \{j \mid \min |L - \text{len}_1 - \sum_{j=1}^t \text{len}_j|, j \in D \setminus S\}$, 其中 t 表示从剩余船舶中选中的船舶数, $0 < t \leq n - m$ 。

Step4 将集合 O 中的船舶排列在闸室最上方。

Step5 用二维优化编排启发式算法排剩下的船舶。

采用降维快速编排算法对上面 3 组数据编排结果如图 3 所示。

采用降维快速编排算法,将 3 组数据中的船舶全部排进计划,提高了闸室面积利用率,满足了工程要求。

随机抽取一天通过三峡-葛洲坝的船舶约 300 条,分

别用两种算法进行编排,结果见表 1。

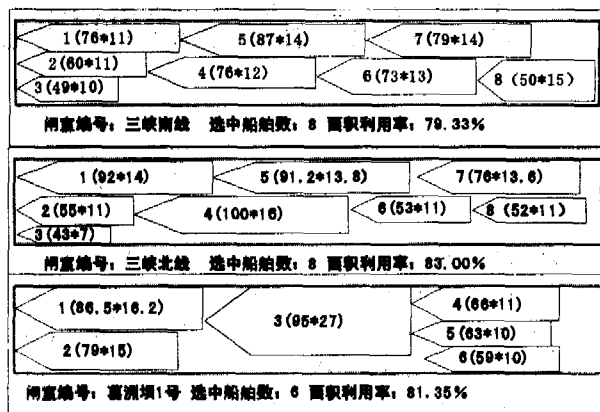


图 3 对 a~c 组数据的降维快速算法编排图示

表 1 两种算法结果对比

闸室	闸室利用率(%)			
	三峡南线	三峡北线	一号闸	二号闸
降维快速编排算法	79.4	80.4	78.6	81.0
二维优化编排启发式算法	79.6	72.7	71.2	73.0

从表中的数据可以看出,降维快速编排算法的平均闸室利用率达到 80% 以上,高于二维优化编排启发式算法,有效地提高了闸室面积利用率,达到航运部门“高效通畅”的要求。

3 结束语

影响降维快速编排算法时间复杂度的主要因素在于搜索船舶宽度之和最接近闸室宽度的编排方案,实际中大多数情况下闸室宽度上只能安排 3 条船,最多可排 4 条船。利用此条信息作为启发式搜索的条件,则降维快速编排算法时间复杂度可近似为 $T(n) = O(C_n^4)$ (n 为待排船舶数),因此该算法速度接近于二维优化编排启发式算法,但是实际效果优于后者。

参考文献:

- [1] 余绍明,曹 雄.船舶过坝调度计划的优化编排方法[J].交通与计算机,1997,15(5):65-67.
- [2] 刘云峰,齐 欢.DFS 算法在三峡永久船闸优化编排中的应用[J].计算机工程,2002,28(8):224-226.
- [3] Dowsland K A, Dowsland W B. Packing Problems[J]. European Journal of Operational Research, 1992, 56(1):2-14.
- [4] Hochbaum D S, Maass W. Approximation Schemes for Covering and Packing Problems in Image Processing and VLSI [J]. Journal of the ACM, 1985, 32(1):130-136.
- [5] 刘云峰,齐 欢.二维优化编排启发式算法及其在三峡永久船闸调度决策系统中的应用[J].计算机与现代化,2002(1):1-3.
- [6] 黄文奇,朱 虹,许向阳,等.求解方格 Packing 问题的启发式算法[J].计算机学报,1993,16(11):829-836.
- [7] 陈传波,何大华.三角形 Packing 问题中无损放置动作的研究[J].华中科技大学学报,2001,29(11):32-34.