

求解三维装箱问题的启发式搜索算法

梅志虎, 唐志波

(浙江海洋大学, 浙江 舟山 316022)

摘要: 集装箱装载问题是将各种不同尺寸、数量的箱子全部装入不同尺寸的集装箱中, 并使集装箱的空间利用率最大化。本文主要研究单个集装箱装载问题, 以集装箱的体积、承载重量、货物方向、稳定性等作为约束条件, 并以集装箱体积利用率最优作为目标函数, 建立数学模型, 利用启发式算法和深度优先搜索算法求解模型。采用某外贸公司的实际订单数据验证本文算法, 得出三种外贸集装箱的平均体积利用率高于 89%, 证明了算法的有效性和可行性。

关键词: 三维装载问题; 启发式算法; 搜索树算法

中图分类号: U695 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 03—0092—03

1 引言

据中国海关统计, 2021 年度我国外贸进出口总值到达 27.8 万亿元人民币, 同比增长 14.2%, 出口值 15.3 万亿元人民币, 同比增长 10.8%, 进口值 12.5 万亿元人民币, 同比增长 18.7%, 如图 1 所示。在我国, 九成以上的外贸货物均通过港口进出^[1]。随着港口货物运输量呈现螺旋式上升的趋势, 越来越多的外贸公司加速发展信息化管理, 提高公司的效率, 增加企业及行业的经济效益。研究三维集装箱装箱问题对于提高运输效率、降低运输成本、提高企业盈利能力、减少污染物排放等方面具有十分积极的现实意义。

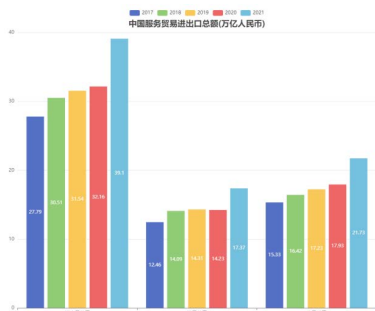


图 1 近五年进出口总额统计

2 三维装箱问题的数学模型

2.1 装箱问题描述

装箱问题是一个经典的组合优化问题, 属于经典的 NP-hard 问题, 有着广泛的应用, 在日常生活中也屡见不鲜。通常定义为: 给定 i 种长宽高为 L_i 、 W_i 、 H_i 的集装箱和 j 种长宽高为 l_j 、 w_j 、 h_j , 重量为 m_j 的货物^[2], 然后将所有物品都装入箱子中, 要求装入箱子中所有物品的总体积不能超过箱子的容积, 并且使集装箱的利用率达到最高。装箱问题的示意图如图 2 所示。

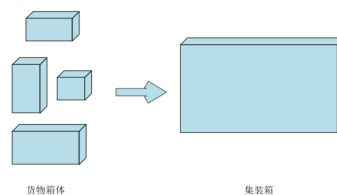


图 2 装箱示意图

2.2 模型假设

本文主要研究单个集装箱装载问题, 考虑以下约束条件:

(1) 体积约束: 货物的总体积不超过集装箱的最大容积;

(2) 载重量约束: 货物的总重量不超过集装箱的最大承载能力;

(3) 不重叠约束: 货物之间不允许重叠放置;

(4) 正交放置约束: 摆放过程中货物边缘与集装箱边缘平行或者垂直。

(5) 稳定性约束: 在实际应用中, 装载必须保证每个装载的货物必须有集装箱底部或其他货物的支撑, 以防止货物被悬挂。

(6) 方向约束: 一些特定类型的货物在确定装载顺序时, 还需考虑摆放方向。

2.3 模型建立

在实际装箱中, 由于订单货物和货运车辆的多种多样, 对于公司来说, 集装箱的空间利用率是他们最关心的问题, 因此, 基于以上分析的内容, 建立目标函数和装箱约束的数学模型如下。

2.3.1 目标函数为集装箱体积利用率最优

$$Z = \max \frac{\sum_{i=1}^N a_i v_i}{V} \quad (1)$$

其中, i 为货物的序号, $i=1,2,\dots,N$, a_i 为第 i 种货物在集装箱里面的装载数量, v_i 为第 i 种货物的体积,

Z 为集装箱的体积利用率，V 为集装箱的容积。

2.3.2 货物重量约束

$$\sum_{i=1}^N a_i m_i \leq M \quad (2)$$

其中， m_i 为第 i 种货物的重量， M 为集装箱的最大载重量。

2.3.3 货物体积约束

$$\sum_{i=1}^N a_i v_i \leq V \quad (3)$$

其中， v_i 为第 i 种货物的体积， V 为集装箱的容积。

2.3.4 货物装载三维尺寸约束

$$\begin{cases} 0 \leq x_i + l_i \leq L \\ 0 \leq y_i + w_i \leq W \\ 0 \leq z_i + h_i \leq H \end{cases} \quad (4)$$

其中， x_i, y_i, z_i 为第 i 种货物在集装箱内部的位置坐标， l_i, w_i, h_i 为第 i 种货物的长宽高， L, W, H 为集装箱的长宽高。

2.3.5 方向约束

$$\begin{cases} bl_i = \{0,1\} \\ bw_i = \{0,1\} \\ bh_i = \{0,1\} \end{cases} \quad (5)$$

其中， bl_i, bw_i, bh_i 为第 i 种货物对应的边垂直放置作为高度，0 表示不可以，1 表示可以。

3 启发式搜索算法

本文所研究的启发式搜索算法具体流程如图 3 所示。通过两个启发式算法来获取当前剩余空间的可行块，为后续寻优过程提供较为良好的初始解；随后采用带有深度限制的深度优先搜索算法和贪心算法对装载方案进行寻优。

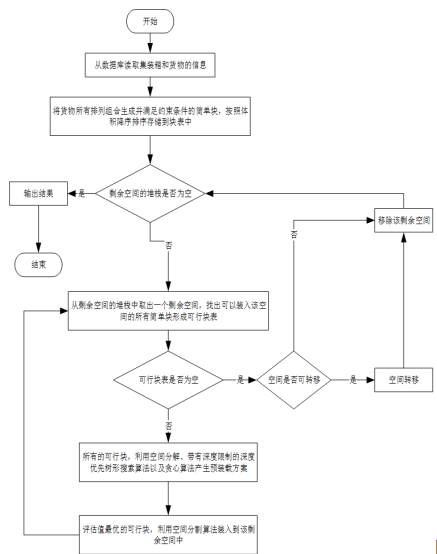


图 3 启发式搜索算法

3.1 启发式算法

3.1.1 简单块

简单块是由同一朝向的同种类型的箱子堆叠而成的，箱子和箱子之间没有空隙，堆叠的结果形成一个长

方体^[3]。将所有排列组合生成并满足约束条件的简单块，按照体积降序排序存储到块表中，用于迅速生成指定剩余空间的可行块列表。如图 4 所示， n_x, n_y, n_z 分别表示在对应坐标轴上的箱子数。

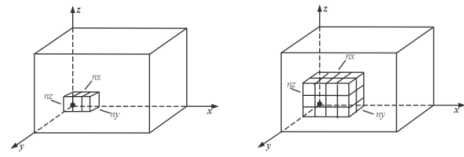


图 4 简单块

3.1.2 空间分割

如图 5 所示，将一个长为 l ，宽为 w ，高为 h 的可行块装入到这个剩余空间中^[4]，此时该剩余空间除去该可行块所占有的体积外，将该空间划分成前 (Front)、右 (Right)、上 (Up) 三个空间，但是在分割前 (Front)、右 (Right) 两个空间时，可以有如图 5(a) 和图 5(b) 两种分割方式，图 5(c) 箭头所示的空间便是图 5(a) 和图 5(b) 的可转移空间，随着装箱的需要，可转移空间可以被转移给另一个剩余空间重新利用。

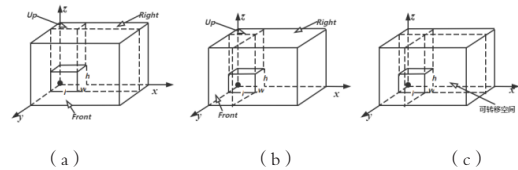


图 5 剩余空间切割和转移

3.2 带深度限制的深度优先搜索算法

首先进行带深度限制的深度优先搜索算法制定当前的预装载方案，从一个部分方案出发，递归计算可行块的评估值，当达到深度限制的叶子节点时，调用贪心函数算出当前的方案，进而选择最优解。如图 6 所示，方框中的节点表示用贪心算法计算出的节点，而黑色节点表示最终选择的最优节点。

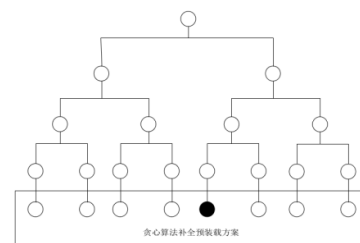


图 6 深度优先搜索 (深度为 3, 分支数为 2)

4 实验方案

采用 JAVA 编程语言实现本文所研究的集装箱装载算法，利用 MATLAB 编程语言进行仿真实验以及实例验证，并根据某外贸公司的实际订单货物，得到三维装箱图以及目标函数值。

复杂地质条件下船坞坞墙结构设计与应用

张森臣¹, 阮心²

(中国电建集团山东电力建设有限公司, 山东 济南 250010)

摘要: 公司承建的港务综合设施项目地处沙特阿拉伯北部的阿曼湾沿岸, 地质条件复杂。坞墙结构作为船坞设施的主要水工结构段, 深入剖析大型干船坞坞墙结构专业的设计原理及优化方向, 结合国内外工程实践经验, 总结提炼在复杂地质条件下的大型船坞结构设计及优化的思路及方法则至关重要。通过本研究的相关成果以期填补公司在相关工程领域的空白, 拓展公司业务范围, 同时也为后续类似项目提供相关工程设计的参考。

关键词: 坞墙结构; 船坞; 复杂地质; 选型

中图分类号: TV92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2023) 03—0094—03

公司承建的沙特萨拉曼国王国际港务综合设施项目包含建设三座大型干船坞, 其中两座用于新造船只的建设, 一座用于船只的检修维护。因项目所在地所处的地质水文环境复杂, 坞墙结构作为船坞正常使用以及抵抗极端事件的保障作用则更加突出。因此, 坞墙结构的合理选型及设计是如何在安全可靠的前提下最大限度地提高经济性、缩短施工周期的保证, 也是坞墙结构设计需要完成的一项重要指标。

本研究从解决工程实际问题出发, 通过对项目复杂地质进行分析, 对坞墙结构的设计、选型研究过程及方法进行总结, 尤其针对船坞坞墙结构优化过程中的计算

分析过程进行说明, 包括优化方向的确定、有限元分析及计算结果。

1 项目地质条件

项目所处地区原始地貌为砂质土层, 其岩层埋深较深, 且风化程度较高, 船坞区域的地下土层依次为级配不良的粉砂、轻度至良好胶结的砂 / 软弱砂岩、较软弱的砂岩、粘土岩 / 泥岩 / 粉砂岩 / 粉砂屑石灰岩 / 石膏, 偶有薄的粉砂 / 粘土透镜体。地质的承载力低, 天然地基往往不能满足大型工程对土体变形和稳定的要求, 因此, 在工程建设前通常需要对地基进行处理、加固, 增

4.1 实例验证

为了验证本文算法的可行性和适用性, 以 40HQ 外贸集装箱进行装箱为例。从宁波某进出口有限公司获取某个订单进行验证, 该订单产品箱数为 893 箱, 产品种类为 67 种。

通过该订单的实例验证可以看出, 在满足实际装载约束的同时, 40HQ 的集装箱的体积利用率达到了 91.66%, 降低了运输成本。如图 7 所示 40HQ 外贸集装箱的装载效果, 不同颜色表示不同的货物。

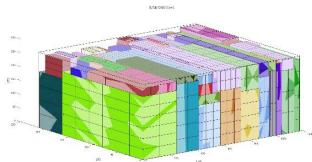


图 7 40HQ 集装箱

算法能够较好地解决大规模货物的装载问题, 进行了上百个订单测试, 集装箱平均体积利用率均高于 89%, 取得了理想的装箱效果, 证明了算法的有效性和可行性。

当然, 本文算法仍然存在一定的缺陷, 例如, 箱子种类越多, 产生的可行块就会越多, 搜索树就会越复杂, 计算时间也会越长。

参考文献:

- [1] 李丽. 我国港口集装箱运输发展现状与趋势 [J]. 现代商贸工业, 2018, 39(19): 17-18. DOI: 10.19311/j.cnki.1672-3198.2018.19.007.
- [2] 叶秋实. 三维装箱算法的研究与系统开发 [D]. 广东工业大学, 2020. DOI: 10.27029/d.cnki.ggdgu.2020.000105.
- [3] 张德富, 彭煜, 朱文兴, 陈火旺. 求解三维装箱问题的混合模拟退火算法 [J]. 计算机学报, 2009, 32(11): 2147-2156.
- [4] 张钧, 贺可太. 求解三维装箱问题的混合遗传模拟退火算法 [J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(14): 32-39+47.

5 结论

通过对宁波某进出口有限公司实例验证, 表明所提