

集装箱船装载问题的混合遗传智能优化算法

朱莹¹ 向先波¹ 杨运桃² 王英伟¹

(1 华中科技大学船舶与海洋工程学院, 湖北 武汉 430074;

2 中国船舶工业系统工程研究院, 北京 100094)

摘要 为了提高集装箱的利用率,以空间利用率最大化为优化目标,建立集装箱船装载问题的数学模型,提出了一种新型混合遗传智能算法.算法中设计了一种包含货物装填顺序和放置状态的两段编码方式,构造适应集装箱船装载问题的部分映射交叉算子、两点交叉算子、顺序逆转变异算子和基本位变异算子,并对此算法进行了仿真验证.以 Loh 和 Nee 的两组经典测试数据为实例进行算法测试,空间利用率分别达到 94.3% 和 91.4%,与相同类型装箱算法进行对比,空间利用率有明显提升,验证了混合遗传智能优化算法的有效性.

关键词 集装箱船; 三维装箱; 遗传算法; 启发式算法; 遗传编码

中图分类号 U695.2+2 **文献标志码** A **文章编号** 1671-4512(2015)S1-0448-04

Intelligent hybrid genetic algorithm for container ship loading

Zhu Ying¹ Xiang Xianbo¹ Yang Yuntao² Wang Yingwei¹

(1 School of Naval Architecture and Ocean Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2 Systems Engineering Research Institute, Beijing 100094, China)

Abstract For the purpose of optimizing the efficiency of the container, a mathematical model of container ship loading problem was established with the goal of maximizing the utilization of space. An intelligent hybrid genetic algorithm combined with a new encoding method consisting of the sequence and the placement of the cargo was presented. The genetic operators including partial mapped crossover operator, two-point crossover operator, sequence reversed mutation operator and basic bit mutation operator were applied to the loading problem. Simulations were performed to validate the proposed algorithm. By taking two sets of test data in the classic Loh's algorithm test, the space utilization respectively reached 94.31% and 91.41% which had an obvious improvement compared with the other algorithms. The results show the effectiveness of the intelligent hybrid genetic algorithm for addressing the container ship loading problem.

Key words container ship; three-dimensional container loading; genetic algorithm; heuristic algorithm; genetic coding

集装箱船装载问题可描述为:将具有一定质量、体积、价值的不同种类不同数量的货物,按照一定的规则,装入具有一定载重和容积限制的集装箱内的过程,在满足运量限制的情况下,实现箱内物品价值总和最大化.精确的数值计算方法难以解决此类问题,大量应用的是启发式算法、遗传

算法、模拟退火算法等智能算法.

翟钰等提出的启发式算法中^[1],由完全相同的货物组成块装载,用树搜索寻找最优装载方式.何大勇等提出的遗传算法^[2],通过权重系数变化法处理多目标问题,通过罚函数法处理约束.张德富等提出的混合模拟退火算法^[3],以复合块生成

收稿日期 2015-06-30.

作者简介 朱莹(1991-),女,硕士研究生;向先波(通信作者),副教授, E-mail: xbxiang@hust.edu.cn.

基金项目 湖北省自然科学基金资助项目(2014CFB253);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20120142120045);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2015TS006).

算法和基础启发式算法为基础,采用模拟退火算法搜索最优解.钟石泉等提出的禁忌算法^[4],采用惩罚函数处理集装箱重量约束和重心约束.

国外研究中最有代表性的是由 George 和 Robinson 提出的启发式算法^[5],首次引入层的概念. Loh 和 Nee 研究的启发式算法^[6],针对弱异类问题,采用装填密度作为目标函数,构建水平层装载. Lim 和 Rodrigues 等针对均质装箱问题和不均质装箱问题^[7],提出了两种对应的启发式算法. Wang 等的启发式算法^[8]设计了一种特殊的基于三叉树的动态空间分解方法. Moura 参考 G&R 算法进行了变形^[9],考虑了稳定性约束. Dereli 等提出的蜂群算法^[10]与遗传算法相似,最优父代和一些子代保留至下一代,算法考虑了货物的可旋转约束.

本研究提出了混合遗传智能优化算法,通过启发式规则确定集装箱船装箱问题的装载规则,产生可行解空间,应用遗传算法在可行解空间中搜索最优解.

1 装载模型

本文仅考虑几何约束,即所有货物完全放置在集装箱中,货物之间不重合.在几何约束前提下,以集装箱空间利用率最大为目标函数.为方便研究,做以下假设:a. 集装箱的载重量足够大;b. 货物外形为规则矩形;c. 货物可以任意旋转摆放;d. 货物无优先级;e. 忽略稳定性因素.

集装箱船装载模型可以描述为:满足集装箱几何约束的条件下,确定各货物在集装箱中的装载位置和放置状态,使集装箱空间利用率最大.

2 模型求解及算法分析

2.1 启发式规则

坐标系采用笛卡尔坐标系,采用占角策略定位,货物摆放在靠近左后角的位置.将第一个货物放入当前空间左下角后,就形成了右方、上方、前方三个子空间,如图 1 所示.每个子空间都是一个独立的装载空间,后续货物按照右空间、上空间、前空间的顺序进行独立装载.每一次装载都会产生上述三个子空间,均按照右空间、上空间、前空间的遍历方式装载,直到任意剩余的货物均不能装入任意一个剩余子空间,则装载结束.

每次装载前,若存在闲置空间,则将当前装载空间与闲置空间进行合并,将合并后的空间作为

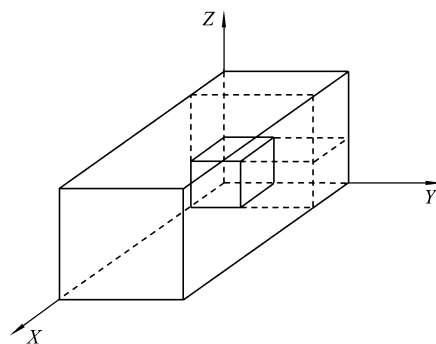


图 1 空间划分方式

新的装载空间,使闲置空间再利用.有 3 个方向上的空间合并,分别为图 2(a)左右合并、图 2(b)上下合并和图 2(c)前后合并.

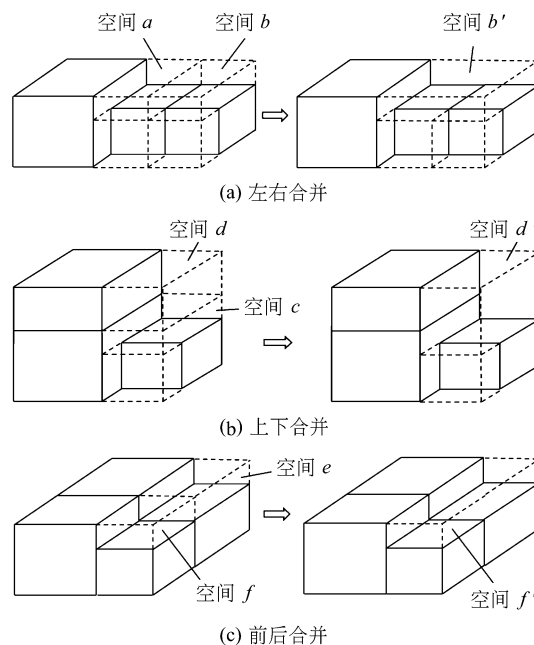


图 2 空间合并方式

2.2 遗传算法

货物有 k 种,编号为 $i=1,2,\dots,k$,每种货物的数量为 n_i .一般装箱问题中,仅对货物的放置状态进行编码.而本研究采用改进后的两段编码,长度为 $2k$,前 k 位表示货物的装载顺序,后 k 位表示货物的放置状态,编码表示为

$$P = \{s_1, s_2, \dots, s_k, s_{k+1}, s_{k+2}, \dots, s_{2k}\},$$

式中: $s_1, s_2, \dots, s_k, s_{k+1}$ 为由实数 $\{1, 2, \dots, k\}$ 组成的序列,表示货物的装载顺序; s_{k+2}, \dots, s_{2k} 为一组取值范围为 $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 的实数,表示前段编码对应货物的放置状态.货物的长宽高分别用 x, y, z 表示,集装箱的长宽高分别用 X, Y, Z 表示.由于货物的放置状态可任意旋转,就形成了 6 种放置状态,在编码中用实数 $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 表示,代表意义如表 1 所示.

由编码确定了待装货物的装填顺序和放置状

表 1 编码值对应表

编码值	与 X 平行边	与 Y 平行边	与 Z 平行边
1	x_i	y_i	z_i
2	y_i	x_i	z_i
3	y_i	z_i	x_i
4	z_i	y_i	x_i
5	z_i	x_i	y_i
6	x_i	z_i	y_i

态,由启发式规则确定了货物的放置方式,解码后可以确定每种货物能装入集装箱的数量.设种类编号为 s_i 的货物能装入 m_i 个,解码表示为

$$Q = \{ \underbrace{s_1, s_1, \dots, s_1}_{m_1 \uparrow}, \underbrace{s_2, s_2, \dots, s_2}_{m_2 \uparrow}, \dots, \underbrace{s_k, s_k, \dots, s_k}_{m_k \uparrow} \}.$$

参考目标函数空间利用率,适应度函数定义为

$$F = \sum_i [m_i x_i y_i z_i / (XYZ)] \times 100\%.$$

选择操作采用的是轮盘赌注法,适应度越高的个体保留至下一代的概率越大.

交叉操作以一定概率交换两个父代个体中的部分编码值.根据编码方式,前段基因编码采用部分映射交叉,后段基因编码选用简单两点交叉,交叉概率为 P_c .

变异操作以一定概率更改单个父代个体编码中的部分编码值.根据编码方式,前段基因编码采用两点顺序逆转变异,后段基因编码采用基本位变异,变异概率为 P_m .

最优保存策略将子代中适应度最低的个体替换为父代中适应度最高的个体,可以避免父代中的优秀个体在遗传迭代的过程中消失.

2.3 算法设计

基于上文的启发式规则和遗传算法的描述,借助 Matlab 仿真软件进行算法实现,混合遗传智能优化算法流程如下.

Input Box, X, Y, Z, M, P_c , P_m , GEN

随机生成一组初始解群编码 P

for $s=1$ to GEN do

按启发式规则对 P 解码

计算解群 P 的适应度 F_i

寻找解群 P 中适应度最大的个体 $\max P$, 适应度为 $\max F_i$

对解群 P 进行选择操作,选择结果为 Select P

对解群 Select P 前段编码进行部分映射交叉操作

对解群 Select P 后段编码进行两点交叉

操作

保存交叉结果为 Cross P

对解群 Cross P 前段编码进行顺序逆转

变异操作

对解群 Cross P 后段编码进行基本位变

异操作

保存变异结果为 Mutate P

按启发式规则对 Mutate P 解码

计算解群 Mutate P 的适应度 F_i

寻找解群 Mutate P 中适应度最大个体

\max Mutate P, 适应度为 \max Mutate F_i

寻找解群 Mutate P 中适应度最小个体

\min Mutate P, 适应度为 \min Mutate F_i

if \max Mutate $F_i < \max F_i$ then

将解群 Mutate P 中个体 \min Mutate P 替换为解群 P 中个体 $\max P$

end if

$P = \text{Mutate } P$

end for

寻找第 GEN 代解群 P 中适应度最大的个体 $\max P$, 适应度为 $\max F_i$

Output $\max P$, $\max F_i$.

3 算例分析

3.1 算法测试

Loh 和 Nee 研究的问题^[6]与本文十分相似,他们在研究中给出了 15 组经典的测试数据.文献[7-10]先后使用这组数据对自己的算法进行了测试.Loh 和 Nee 的 15 组数据中,除算例 2 和算例 6 外的 13 组数据,货物的总体积均小于集装箱的容积,在测试过程中,所有货物均可装入集装箱中,其测试结果不具备分析对比意义,故本文仅列出算例 2 和算例 6 的测试结果.针对这两组测试数据进行仿真实验,空间利用率分别可达 94.3% 和 91.4%,其具体的装载方案见表 2 和表 3.

表 2 算例 2 测试结果

装载顺序	装入数量	未装数量	放置状态
1	29	0	3
2	37	0	3
4	19	0	5
8	23	0	3
6	17	0	5
5	0	16	4
3	27	7	3
7	20	5	6

表 3 算例 6 测试结果

装载顺序	装入数量	未装数量	放置状态
5	25	0	2
6	23	0	4
1	34	0	4
8	17	0	1
7	4	10	1
4	10	17	4
2	23	14	4
3	23	0	3

3.2 结果分析

将 Lim 等对 Loh 和 Nee 的测试数据结果与本文算法进行对比,结果见表 4.

表 4 空间利用率 %

算法	算例 2	算例 6	平均
文献[7]	80.4	84.8	82.6
文献[8]	90.7	92.9	91.8
文献[9]	92.6	91.7	92.2
文献[10]	86.3	89.2	87.8
本文	94.3	91.4	92.9

本文针对算例 2 的装载优化,空间利用率达到 94.3%,明显高于其他算法的结果;针对算例 6 的装载优化,空间利用率达到 91.4%,结果仅次于文献[9]算法的 91.7%和文献[8]算法的 92.9%;平均空间利用率为 92.9%,优于其他算法的结果.本文算法中的启发式算法的装箱思路模拟一般人工装箱的过程,并能合并一些无法利用的废弃空间使其得到再利用,提高了空间利用率.遗传编码部分编码方式使得装箱方案更加多样化,不采用优先装载大件货物的传统思路,而是通过编码和遗传操作搜索最佳的装载顺序,使装箱的思路更加灵活,为优化空间利用率提供更多的可能.综合来看,本文算法对提高集装箱装载利用率有一定的优化效果.

仿真结果显示本文提出的混合遗传智能优化

算法对集装箱船装载问题有显著优化效果.本文算法中的编码方式加入了装填顺序,解除了对货物装填顺序的单一规则的限制,通过遗传算法搜索最佳的装填顺序,为算法提供更丰富的搜索空间,使算法在更大的搜索空间内寻求最优解.

参 考 文 献

[1] 翟钰,孙小明. 多种物品三维装箱问题的一种启发式算法[J]. 上海交通大学学报, 2007(8): 1244-1247.

[2] 何大勇,查建中,姜义东. 遗传算法求解复杂集装箱装载问题方法研究[J]. 软件学报, 2001(9): 1380-1385.

[3] 张德富,彭煜,朱文兴,等. 求解三维装箱问题的混合模拟退火算法[J]. 计算机学报, 2009(11): 2147-2156.

[4] 钟石泉,王雪莲. 多箱型三维装箱问题及其优化研究[J]. 计算机工程与应用, 2009(22): 197-199.

[5] George J A, Robinson D F. A heuristic for packing boxes into a container[J]. Computers & Operations Research, 1980, 7(3): 147-156.

[6] Loh H T, Nee A T C. A packing algorithm for hexahedral boxes[C]// Proc of Conference of Industrial Automation. Singapore: [s. n.], 1992: 115-126.

[7] Lim A, Rodrigues B, Yang Y. 3-D container packing heuristics[J]. Applied Intelligence. 2005, 22(2): 125-134.

[8] Wang Z, Li K W, Levy J K. A heuristic for the container loading problem; a tertiary-tree-based dynamic space decomposition approach[J]. European Journal of Operational Research, 2008, 191(1): 86-99.

[9] Moura A, Oliverio J F. A GRASP approach to the container-loading problem[J]. IEEE Intelligent Systems, 2005, 20(4): 50-57.

[10] Dereli T, Das G S. A hybrid ‘bee(s) algorithm’ for solving container loading problems[J]. Applied Soft Computing, 2011, 11(2): 2854-2862.