

遗传算法求解复杂集装箱装载问题方法研究*

何大勇¹, 查建中², 姜义东³

¹(中国银行总行 信息科技部, 北京 100818);

²(北方交通大学 机电学院, 北京 100044);

³(兴唐公司, 北京 100083)

E-mail: hedayong@sina.com; jzcha@center.njtu.edu.cn

摘要: 现场集装箱装载问题多为多目标、多约束优化的复杂问题。遗传算法本身的鲁棒性、并行搜索性以及 NP 完全问题求解中的广泛应用, 表明遗传算法是解决复杂集装箱装载问题的有效途径。探讨了遗传算法在求解这一复杂问题过程中的应用, 给出了有效的编码形式和解码运算。算例求解结果显示出很好的效果。

关键词: 集装箱装载问题; 布局; 遗传算法; NP 完全问题; 启发式规则; 多目标优化

中图法分类号: TP301

文献标识码: A

集装箱装载问题广泛地出现在铁路货车车厢装载、汽车车厢装载、轮船配载、集装箱装载等情况。问题的提法是: 将一批待布箱体(长方体)装入长方体容器中, 目标是使容器空间利用率和重量利用率达到最高。同时要考虑到约束有: (1) 箱体本身的承重性(易碎性); (2) 箱体搬运的难易性; (3) 一些货物必须隔离; (4) 不允许超过最大承重量; (5) 重心与几何形心偏差不应太大; (6) 货物码放的稳定性等等。

有关布局问题的综述性工作详见文献[1, 2], 其中大部分是研究二维或三维矩形物体在矩形容器中的布局。目前常用的布局优化方法有数学规划法、图论法、启发式方法、人工智能^[3], 多为不带约束的简化布局问题。杨传民等人^[4]通过全面枚举搜索方法来研究相同大小的立方体的装箱优化问题。Mannchen^[5]设计的数搜索算法, 理论上对三维箱体布局有效, 但由于三维箱体布局属于 NP 完全问题, 随着布局箱体的增多, 解空间剧增, 因而计算效率较低。H. GEHRING^[6]提出按阶段填充, 在深度方向按层布局的启发式算法, 不仅考虑了空间利用率, 而且还考虑了重心平衡。戴佐^[7, 8]采用八叉树描述三维物体, 并以八叉树为基础设计启发式算法。王金敏^[9]以相同尺寸的物体布局为研究对象, 将约束处理加入启发式规则中, 提出关于约束底盘装载问题的启发式方法。

以上求解都建立在简化模型的基础上, 而现实生活中存在着大量多目标、多约束的布局, 人们在研究集装箱布局时, 往往采用简化模型, 以回避这一问题。许多实际约束, 如装载稳定性、重心平衡使得集装箱布局问题更加复杂(本文定义这种问题为复杂集装箱装载问题)。通常需要将约束考虑到启发式规则中, 而不能只是先考虑空间利用率, 待布局完成后再检查约束, 因为有些复杂的布局很难凭经验检查出是否满足约束。因此, 开发实用的综合考虑多种约束、多种目标的集装箱空间规划算法有待于进一步加以研究。由于存在多目标、多约束的空间规划问题的计算复杂性, 利用数学规划法和图论法不太有效; 启发式方法虽然较为有效, 但大多只能解一类问题, 局限性较大。

* 收稿日期: 2000-01-20; 修改日期: 2000-05-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69974002)

作者简介: 何大勇(1976-), 男, 黑龙江北安人, 硕士, 主要研究领域为人工智能; 查建中(1947-), 男, 北京人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为智能布局, 智能工程; 姜义东(1975-), 男, 辽宁营口人, 硕士, 主要研究领域为人工智能。

因此,本文采用遗传算法作为工具,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,在采用遗传算法处理复杂集装箱装载问题方面做了一些尝试.求解问题的目标包括:①空间利用率最大;②货物总重量最大;③货物总体重心尽量低,以使稳定性最大,搬运方便.其约束包括:①总重量不允许超过集装箱最大承重量;②物体间不允许出现空间干涉.

1 遗传算法实现

遗传算法是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的一种自适应全局优化概率搜索算法.遗传算法在空间规划领域中的应用刚刚开始^[10],集装箱空间规划问题为 NP 完全问题,而遗传算法本身的鲁棒性、并行性以及其在 NP 完全问题求解中的广泛应用表明,遗传算法是解决复杂集装箱空间规划问题的有效途径.如何将遗传算法应用于集装箱空间规划是值得深入研究的,这对于推广遗传算法在实际空间规划设计中的应用,具有重要的实际意义.

1.1 问题解的数字串表示 编码

平面布局一般采用待布物体在平面上的坐标组成解串,但是,坐标值的调整变化仅描述了待布物本身位置的改变,可能会使待布物之间出现干涉,为此需要进行判断,以避免出现干涉,亦即坐标值的变化是受限制的,这不适合于用遗传算法求解.而且,在三维空间布局中,干涉的计算量要人得多.因此,需要构造一种新的、更适合的表示方式.

把待布物的编号按排放顺序排列成串,即

$$P = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_n\}.$$

其中 n 表示待布物的个数; P_i 为整数,其值代表盒子的编号.交叉和变异算子对其进行的操作实际上就是改变待布物的排放顺序,从而产生不同的空间规划图(不同的解).

数字串 P 是解的基因型表示,能否简单、快速地将其转化为表现型(即空间规划图),从而求出其有关评价参数,就成为遗传算法能否有效应用的关键,为此,本文提出如下译码算法.

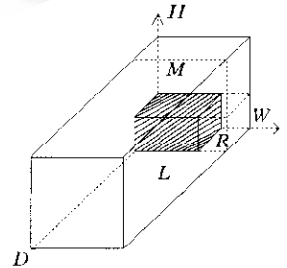
1.2 空间分解算法——译码

布局空间分解过程采用二叉树数据结构表示.先对原始布局空间求解,此时,原始布局空间为当前布局空间,对应于二叉树的根结点.按照第 1.1 节中数字串 P 的先后顺序,从可选布局物体中选择一个相对于当前布局空间为最优的布局物体,其摆放方式通过可行域的形状确定^[11],将其定位于当前布局空间后部的左下角,如图 1 位置所示,并将布入的物体编号从 P 中删除.这样,原布局空间的剩余空间可分为 L, M, R 这 3 个子空间,分别对应于二叉树根结点的左、中、右 3 个子结点.剩余的布局空间就变成 3 个独立的布局空间,依次将 L, M, R 当作当前空间,对这 3 个布局空间重复上述分解过程,直至没有待布局物体满足要求或集装箱没有可利用空间时停止.

这样,数字串 P 就转化为布局图,并且克服了空间干涉约束.由此可见,二叉树结构对于求解复杂集装箱布局的空间分解问题有着明显的优势,但对于具有特殊形状的容器的布局问题,目前还无法很好地应用.

1.3 适宜度函数

遗传算法对一个解的好坏用适宜度函数值的大小来评价,适宜度的值越大,解的质量越好.在



All the coordination in this paper are refer to this figure^①

①论文中坐标系均参照本图.

Fig. 1 Space decomposition

图1 空间分解示意图

讨论遗传算法的实现之前,应先定义适宜度函数.评价一个解的好坏需要考虑以下3个方面:

(1) 空间利用率函数

$$CR() = \left(\sum_{i=1}^m BV_i \right) / CV \times 100.$$

BV_i 表示第 i 个布入的盒子的体积, CV 表示集装箱体积, m 为布入的盒子数.

(2) 重量考察函数

$$Weight() = \begin{cases} \left(\sum_{i=1}^m BW_i \right) / CW \times 100, & \sum_{i=1}^m BW_i \leq CW \\ 0, & \sum_{i=1}^m BW_i > CW \end{cases}$$

BW_i 表示第 i 个布入盒子的质量, CW 表示集装箱最大承载重量. 超过最大重量, 惩罚 $Weight()$ 为 0.

(3) 重心考察函数

$$Centerofgravity() = \left(CH \times 1.5 - \left(\sum_{i=1}^m BW_i * BWP_i \right) / \sum_{i=1}^m BW_i \right) / CH \times 100.$$

CH 表示集装箱高度, BWP_i 表示第 i 个盒子的重心高度, 通常取盒子高度的一半, BW_i 表示第 i 个盒子的重量. 该函数主要考察码放的稳定性和搬运的难易性, 若重物都在下面, 则码放稳定, 且易搬运.

因此, 根据惩罚函数法和处理多目标优化的加权系数法, 定义适宜度函数为

$$F() = k_1 CR() + k_2 Weight() + k_3 CenterofGravity().$$

$k_1, k_2, k_3 > 0$, 为权重, 根据经验来选择.

1.4 遗传算子

1.4.1 选择算子

本文采用比例选择法和最优保存策略, 既能保证适应度较高的个体遗传到下一代, 又能保证有较高的全局收敛性.

比例选择方法 (proportional model) 的基本思想是: 各个个体被选中的概率与其适应度大小成正比, 适应度越高的个体被选中的概率越大; 反之, 适应度越低的个体被选中的概率越小.

我们希望适应度最好的个体要尽可能地保留到下一代群体中. 为了达到这个目的, 可以使用最优保存策略进化模型 (elitist model) 来进行优胜劣汰操作, 即当前群体中适应度最高的个体不参与交叉运算和变异运算, 而是用它来替换掉本代群体中经过交叉、变异等遗传操作后所产生的适应度最低的个体.

最优保存策略可视为选择操作的一部分. 该策略的实施可保证迄今为止所得的最优个体不被交叉、变异等遗传运算所破坏, 它是遗传算法以概率 1 收敛到全局最优解的一个重要保证条件^[12].

1.4.2 交叉算子

对于本文这种类似于旅行商的以符号编码的基因串 P , 交叉方式有部分映射交叉、顺序交叉、循环交叉等^[12], 本文采用部分映射交叉方式.

部分映射交叉也称为部分匹配交叉 (partially matched crossover). 这种交叉操作的主要思想是: 整个交叉操作过程由两步来完成, 首先对个体编码串进行常规的双点交叉操作, 然后根据交叉区域内各个基因值之间的映射关系来修改交叉区域之外的各个基因座的基因值.

1.4.3 变异算子

本文采用如下变异操作,以较小的概率 P_m 对数字串 P 中任意两个基因座 P 和 Q 之间的基因进行逆排列。

1.5 终止准则

进化 T 代以后,停止计算,输出最好的解作为所求得的最优解。

1.6 运算过程

步骤 1. 初始化. 设置进化代数计数器 $t=0$, 设置最大进化代数 $T=200$. 随机生成 $2 * M$ 个个体作为初始群体 $P(0)$, $M=20$.

步骤 2. 个体评价. 按第 1.3 节计算群体 $P(t)$ 中各个个体的适应度 $F()$.

步骤 3. 选择运算. 将第 1.4.1 节中的选择算子作用于群体.

步骤 4. 交叉运算. 将第 1.4.2 节中的交叉算子作用于群体.

步骤 5. 变异运算. 将第 1.4.3 节中的变异算子作用于群体.

步骤 6. 群体 $P(t)$ 经过选择、交叉、变异运算之后得到下一代群体 $P(t+1)$. 终止条件判断. 若 $t \leq T$, 则 $t=t+1$, 转到步骤 2; 若 $t > T$, 则以进化过程中所得到的具有最大适应度的个体作为最优解输出, 终止计算。

2 算例

从文献上看,具有约束、多目标的复杂集装箱空间规划问题至今为止还没有文章发表,因而没有一个样题可以与本文提出的算法相比较. 因此,我们设计了一个样题:布局空间为国际标准的 20 英尺集装箱,尺寸为 $2.352 * 2.388 * 5.899$,单位是米,最大载重量为 18.07 吨,已知其最优解是体积利用率为 100%,重量利用率为 100%,重心高度为集装箱高度的 1/2,重心评价函数为 100,总体适宜度函数为 100. 待布局货物数据参见文献[11],计算结果如图 2 所示,见表 1. CH 表示在 H 方向的坐标, CW 表示在 W 方向的坐标, CD 表示在 D 方向的坐标, BH 表示在 H 方向盒子的尺寸, BW 表示在 W 方向盒子的尺寸, BD 表示在 D 方向盒子的尺寸(坐标见图 1),共布入 18 个盒子,体积利用率为 95.32%,重量利用率为 99.9%,重心高为 118.16cm,重心评价函数为 100.56,总体适宜度函数为 97.48,计算时间为 0.1 小时,此结果与最优结果相差很小. 同一组数据采用文献[6]中的启发式算法,不考虑约束,空间规划结果如图 3 所示,见表 2,求得的空间利用率为 90.7%,低于本算法,重量利用率为 118%,超过最大允许重量. 显然,本算法即使考虑约束,结果也优于文献[6],说明本算法是有效的。

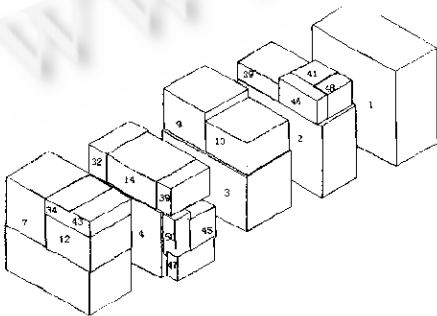


Fig. 2 Genetic algorithm solution
图 2 遗传算法求解结果

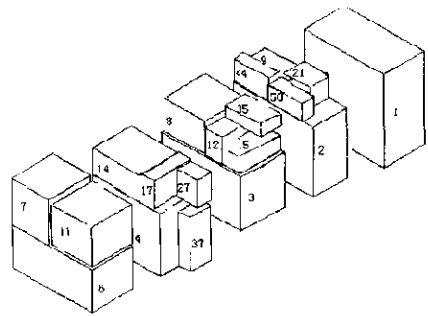


Fig. 3 Heuristic algorithm solution
图 3 启发式算法求解结果

Table 1
表 1

CH	CW	CD	BH	BW	BD	ID	CH	CW	CD	BH	BW	BD	ID
0	0	0	239	235	120	1	139	119	220	80	115	120	13
0	0	120	180	235	100	2	163	59	348	66	139	115	14
0	0	220	139	235	128	3	196	176	468	40	55	120	43
0	0	348	163	200	120	4	163	189	348	68	37	111	39
0	0	468	111	235	120	6	180	0	120	43	120	100	29
111	0	468	119	111	122	7	180	120	120	59	64	70	41
111	111	468	85	119	120	12	180	184	120	59	41	70	48
196	111	468	40	65	120	34	0	200	348	59	30	105	47
139	0	220	100	119	120	9	59	200	348	80	35	70	45
163	0	348	70	50	120	32	180	120	190	59	105	30	46
							59	200	418	100	35	45	50

Table 2
表 2

CH	CW	CD	BH	BW	BD	ID	CH	CW	CD	BH	BW	BD	ID
0	0	0	239	235	120	1	139	119	220	70	50	120	12
0	0	120	180	235	100	2	163	0	348	68	139	115	14
0	0	220	139	235	128	3	139	169	220	40	55	120	15
0	0	348	163	200	120	4	163	139	348	68	37	111	17
0	0	468	111	235	120	6	180	120	120	59	70	64	21
111	0	468	119	111	122	7	163	176	348	70	59	41	27
139	0	220	85	119	120	8	209	119	220	30	105	59	35
180	0	120	40	120	65	9	0	200	348	159	55	60	37
111	111	468	100	119	120	11	180	0	185	59	105	30	44
							180	105	185	45	100	35	50

3 小 结

空间规划问题大量出现在工程领域,通过集装箱空间规划实验可以看出,利用遗传算法解三维物体空间规划是行之有效的.本文仅以典型约束、优化目标为例,更多的约束或目标可以类似地加入到本算法之中.本文为利用遗传算法求解集装箱空间规划提供了经验和基础,对推广遗传算法在空间规划设计中的应用具有一定的意义.

References:

- [1] Dowsland, K. A., Dowsland, W. B. Packing problems. *European Journal of Operational Research*, 1992, 56: 2~14.
- [2] Sweeney, P. E., Paternoster, E. R. Cutting and packing problems; a categorized, application-orientated research. *Journal of Operation Research Society*, 1992, 43(7): 691~706.
- [3] Wang, Ai-hu, Zha, Jian-zhong. A heuristic algorithm for rectangular packing based on hintree expression. *Journal of Software*, 1996, 7(4): 252~257 (in Chinese).
- [4] Yang, Chuan-min, Chen, Shao-wei. Discontinuous optimization on the containerization of cubic. *Package Engineering*, 1996, 17(2): 6~9 (in Chinese).
- [5] Mannchen, K. Solution methods for two and three dimensional packing problems [Ph. D. Thesis], Karlsruhe, Germany, Karlsruhe University, 1989.
- [6] Gehring, H. A computer-based heuristic for packing pooled shipment containers. *European Journal of Operational Research*, 1990, 44(2): 277~288.

- [7] Dai, Zuo, Zha, Jian-zhong, Ni, Zhong-li. A fast decomposition algorithm of octree node in 3D-packing. *Journal of Software*, 1995, 6(11): 679~685 (in Chinese).
- [8] Dai, Zuo, Yuan, Jun-liang, Zha, Jian-zhong. An octree-based heuristic algorithm for three dimensional packing. *Journal of Software*, 1995, 6(10): 629~636 (in Chinese).
- [9] Wang, Jin-min, Chen, Dong-xiang, Zha, Jian-zhong. A heuristic method for constrained pallet loading problem. *Journal of Software*, 1996, 7(10): 616~620 (in Chinese).
- [10] Jakobs, S. On genetic algorithms for the packing of polygons. *European Journal of Operational Research*, 1996, 88(1): 165~181.
- [11] He, Da-yong. Research on solution to container loading problem [MS. Thesis]. Beijing: Northern Jiaotong University, 2000 (in Chinese).
- [12] Zhou, Ming, Sun, Shu-dong. *Genetic Algorithms: Theory and Applications*. Beijing: National Defense Industry Press, 1999 (in Chinese).

附中文参考文献:

- [3] 王爱虎, 查建中. 一种基于二叉树结构表达的矩形物体布局的启发式方法. *软件学报*, 1996, 7(4): 252~257.
- [4] 杨传民, 陈少为. 立方体包装件集装箱的离散优化. *包装工程*, 1996, 17(2): 6~9.
- [7] 戴佐, 查建中, 倪仲力. 三维布局中八叉树节点的快速分解算法. *软件学报*, 1995, 6(11): 679~685.
- [8] 戴佐, 袁俊良, 查建中. 一种基于八叉树结构表达的三维实体布局启发式算法. *软件学报*, 1995, 6(10): 629~636.
- [9] 王金敏, 陈东祥, 查建中. 关于约束底盘装载问题的一种启发式方法. *软件学报*, 1996, 7(10): 616~620.
- [11] 何大勇, 集装箱布局问题求解方法研究[硕士学位论文]. 北京: 北方交通大学, 2000.
- [12] 周明, 孙树栋. *遗传算法原理及应用*. 北京: 国防工业出版社, 1999.

Research on Solution to Complex Container-Loading Problem Based on Genetic Algorithm*

HE Da-yong¹, ZHA Jian-zhong², JIANG Yi-dong³

¹IT Department, Bank of China (Head Office), Beijing 100818, China;

²College of Mechanical and Electrical Engineering, Northern Jiaotong University, Beijing 100044, China;

³Xing Tang Corporation, Beijing 100083, China

E-mail: hedayong@sinc.com; jzcha@center.njtu.edu.cn

Abstract: The container-loading problem occurring in on-the-spot freight production is often with several constraints and objectives, i. e., complex container loading problem. The robustness, parallelism, and a variety of applications in the solution of NP-complete problem of genetic algorithm demonstrate genetic algorithm is an effective approach to solve complex container-loading problem. In this paper, the genetic algorithm for complex container-loading problem is studied, the effective coding and decoding method is given. The numerical solution of example shows that the algorithm is effective.

Key words: container-loading problem; packing; genetic algorithm; nondeterministic polynomial complete problem; heuristic rule; multi-object optimization

* Received January 20, 2000; accepted May 15, 2000

Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant No. 69974002