

金属板材三维装箱的启发式算法^①

邓玉锋, 陈 进

(江南大学 机械工程学院, 无锡 214122)

摘 要: 针对直方体金属板材装箱问题, 提出一种模仿人装箱过程的启发式算法, 该算法对木箱进行分层装箱, 从最底层开始一层层往上装载, 对每层出现的不平整的层进行智能填充, 从而提高木箱的空间利用率, 采用人工智能方法处理待装金属板材得出装箱结果, 实验结果表明, 该算法是行之有效的, 并具有一定的通用性。

关键词: 三维装箱; 分层装箱; 启发式算法

Heuristic Algorithm for 3D Packing Problem of the Sheet Metal

DENG Yu-Feng, CHEN Jin

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Focus on the problems of square metal sheet encasement, this paper proposes a heuristic algorithm which imitates the hominine packing process. This algorithm is able to realize tiered encasement of a wooden box, starting from the bottom layer to upper ones. And in each layer, it can intelligently fill the unevenness to improve the space utilization of the wooden box. By using this intelligent processing approach for metal sheet encasement, we conclude the encasement results which reveal that the present algorithm is both of effectiveness and certain versatility.

Key words: 3D packing; layered and packing; heuristic algorithm

1 前言

金属加工行业的金属板材运输需要进行三维装箱, 而装箱之前都需要进行装箱计算, 计算所需的时间, 箱体的空间利用率的高低, 对金属板材的运输成本、人工成本都有着不可忽视的影响。装箱问题是一个具有复杂约束条件的组合优化问题, 在理论上属 NP-hard 问题^[1,2], 其求解是极为困难的, 在实际应用中, 往往采用一些启发式算法来求解能取得很好的效果。如 Pisinger^[3]在泥瓦工砌墙的实践基础上提出了一种新的启发式算法。张德福^[4]等人提出基于块装载的思想, 按照块选择算法确定每个阶段采用的块并以固定的方式装载块直到无法继续装载的启发式算法。瞿钰^[5]等人提出基于“平面”和“块”的概念, 采取树搜索策略来装载的启发式算法。这几种方法研究的物体尺寸比较接近, 当物体的种类很多、尺寸差异大的时候, 这些方法并不适用。因此, 本文通过考虑板材装箱中的一些实

际情况提出了一种新的按层划分三维装箱的启发式算法^[6-8]。

2 问题的描述

现有数量不限的长、宽、高分别为 L 、 W 、 H 长方体木箱 C 和 n 种不同规格的长方体金属板材集合 $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$, 第 $i(i=1, 2, \dots, n)$ 种金属板材有 m_i 个, 第 i 种金属板材的三维尺寸为 $l_i \times w_i \times h_i$, 目标是把这些金属板材全部装入木箱 C 中, 使其在满足一定约束的情况下木箱的空间利用率尽量大, 木箱的使用数量尽量少。装箱目标的数学表达式为:

$$S(x) = \max \left\{ \frac{\left(\sum_{i=1}^n l_i \cdot w_i \cdot h_i \cdot m_i \right)}{\left(\sum_{j=1}^k L_j \cdot W_j \cdot H_j \right)} \right\}$$

^① 收稿时间:2014-07-11;收到修改稿时间:2014-08-27

其中 n 为金属板材规格数, k 为木箱的数量.

木箱在实际的装箱中约束条件如下:

(1) 方向的约束: 在装箱中, 板材的装载方向只能与木箱的边垂直或平行, 不允许斜放.

(2) 空间的约束: 在装箱过程中, 被放入的任何板材体积不能超出木箱长宽高的限制范围之外.

(3) 稳定性的约束: 稳定性指上层板材需被下层板材或木箱底面完全支撑, 没有悬空的部分.

(4) 完整性约束: 即同一规格的金属板材, 尽可能放在一起.

(5) 重叠的约束: 每个装载的板材在木箱中都有自己的独立空间, 彼此之间不能重叠.

3 启发式算法

3.1 算法思想

在通过现场观察工人的板材装箱过程, 提出一种符合实际应用的启发式算法, 该算法就像工人实际进行板材装箱一样, 从木箱的最底层开始装起, 每层又从某一边向另一边装, 一层层装上去, 直到木箱无法装下任何一种规格的板材, 然后重新开启一个木箱继续重复以上操作, 直到所有的板材被装完为止, 人们在实际装箱过程中, 要尽量使每一层的上表面是平整的, 该算法也是一样, 装载每一层时, 尽量使每一层的上表面平整. 在每一步中, 木箱当前层剩余空间的尺寸被确定后, 要求对所有待装板材和装载方向进行分析, 并且选择最合适的板材进行装载, 在装载每一层之前, 分析所有待装载的板材来找出最适当的层高, 从而节省空间, 最后, 如果可能的话, 将不平整的层填满.

3.2 算法

(1) 板材的装载顺序

不同规格的板材装载的先后顺序对木箱空间利用率的大小有着重要的影响, 因此选择合适的装载顺序尤为重要, 本文采用板材的高和底面积来决定装载顺序, 即在板材的高与层高相差最小的情况下, 底面积大的先放入, 底面积小的后放入, 并按当前层剩余空间的大小来确定下一个装入的板材.

(2) 板材的摆放位置及摆放方式

板材在木箱每层中的摆放位置采取先摆放在角上, 再摆放在边上, 最后在摆中心. 这是人们长期装箱的经验所得, 具有很好的效果. 板材的摆放方式一共有

六种即躺置顺放、躺置横放、侧置顺放、侧置横放、立置顺放和立置横放分别有由数字 1-6 进行表示.

(3) 层高序列

装箱时, 每一层选择合适的层高对该层空间利用率至关重要, 也是选择板材的重要依据, 本文将不同规格的待装载板材的高度按降序排列做为层高序列, 当前层摆放的板材高度应与层高相差最小并且尽量选择同样规格板材摆在这一层.

(4) 分层装箱

算法遍历木箱的每个装载方向, 采用分层装载的思想, 在不限制每层中装入不同板材数量的同时, 选择最适合该层的板材装入, 尽可能使每一层的表面平整, 也就是尽量减少每层中剩余的装载空间, 减少空间浪费.

算法最关键的问题就是解决当前状态下该装哪一层, 再决定哪个板材将被装到当前层中时, 首先要分析当前层中的剩余空间结构, 图 1 表示板材装箱所需的参数也就是当前层剩余空间的结构参数, 其中 L_z 表示当前层的高度, L_{mz} 表示当前层剩余空间的 Z 向最大长度; L_y 表示当前层 Y 向长度, L_{my} 表示当前层剩余空间的 Y 向最大长度; L_{mx} 表示 X 向最大长度, 也是当前层剩余空间的 X 向最大长度.

假定最合适的板材在装载方向上的长宽高分别是 A_x 、 A_y 、 A_z , 则其需满足以下条件: $A_x \leq L_{mx}$ 并与 L_{mx} 接近; $A_y \leq L_{my}$ 并与 L_y 接近; $A_z \leq L_{mz}$ 并与 L_z 接近.

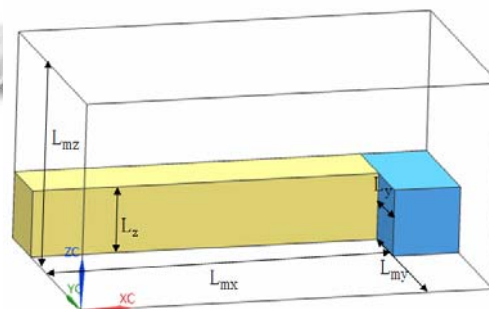


图 1 剩余空间结构示意图

(5) 剩余空间和板材的选择

算法执行分层装载, 这样可以将三维装箱问题简化为二维装箱问题如图 2 所示, 沿着 X 和 Y 轴装载, 追踪每个剩余空间, 其参数被保存在双链表中. 一旦有板材被装载时, 剩余空间数据将会改变, 这种方法使系统只需追踪当前正在装载的空间边缘, 并且避免了

各层和木箱边缘的重叠。每个装载步骤开始于从剩余空间中找出 Y 轴坐标值最小的剩余空间，对待装的板材进行检查，从中找出一个装载到剩余空间中，考虑正确的层高度，这个板材的高要与层高之差尽可能的小，如果找不到这样的板材装载，这个小空间将被忽略，每个板材在每个装载方向上都要被检查。

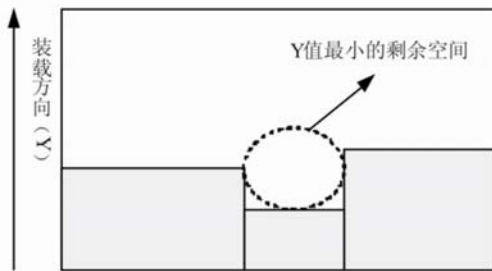


图 2 剩余空间示意图

(6) 不平整层的填充

算法使用不平整层填充策略来处理每层上顶面不平整的问题，如果没有适合当前装载空间的板材，该空间将不会被装载。不平整层的填充意味着该算法能在木箱中利用更多的空间。如图 3 所示，在分层装载过程中，当有不平整的表面时，将剩余空间作为一层来装载，只用还没有被装载的板材来装载这个剩余空间，并选择与该层空间高度最匹配的板材装入，重复操作，直到没有适合的板材装入该剩余空间为止。

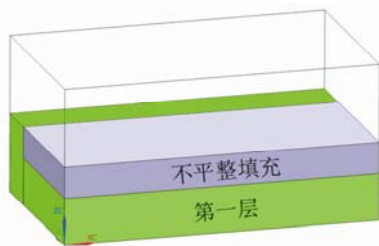


图 3 不平整层填充示意图

具体算法流程如图 4。

4 算例分析

本文运用 Delphi7.0 进行算法的编程，在 CPU 为 AMD Athlon X2 双核 QL-65，内存为 2GB 的个人计算机上对表中 3 个算例进行了求解。其中表 1 给出了三个算例的木箱尺寸和不同规格板材尺寸，表 2 给出了算法程序求解各个算例得到的空间利用率和计算所用时间，图 5 给出计算复杂度较大的算例 2 和算例 3

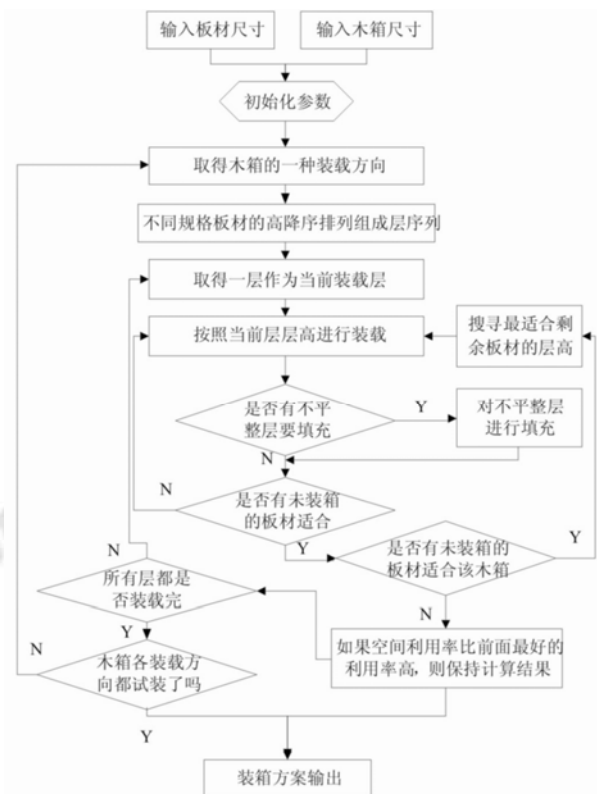


图 4 算法流程图

的装箱结果示意图。

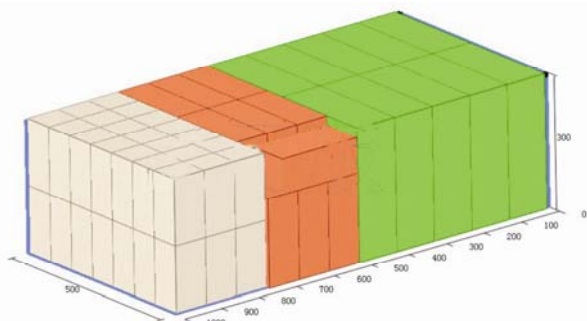
表 1 算例数据表

算例 1					算例 3			
	长	宽	高	数量	长	宽	高	数量
木箱	1000	500	300		木箱	1000	500	300
板材 1	1000	250	200	2	板材 1	100	80	60
板材 2	1000	100	100	5	板材 2	80	60	40
算例 2					板材 3	70	40	40
木箱	1000	500	300		板材 4	80	60	50
板材 1	300	250	100	10	板材 5	65	45	30
板材 2	200	100	80	22				
板材 3	150	80	70	42				

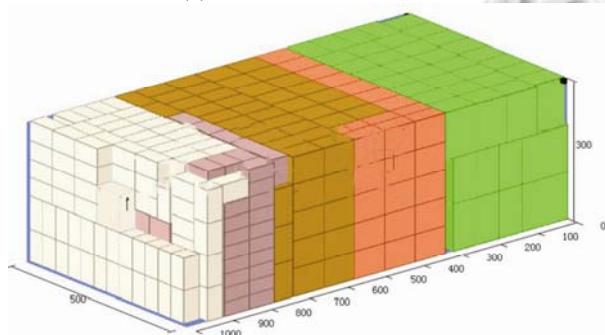
表 2 算例计算结果表

算例	板材数量	板材规格数	空间利用率(%)	计算时间(秒)
算例 1	7	2	100	< 1
算例 2	74	3	97	2
算例 3	721	5	96.9	6

计算结果表明,算法能够在较短的时间内输出满意的装箱方案,根据实际需要,对模型和算法稍加改动,就能应用到实际板材的装载问题中,由于算法采用了模仿人的装载方法,装箱过程中运用了不平整层的智能填充策略,极大地提高了木箱的空间利用率.



(a) 算例 2 装箱结果图



(b) 算例 3 装箱结果图

图 5 装箱结果图

5 结论

本文提出了一种解决三维装箱问题的启发式算法,该算法在木箱空间分层,层中不平整部分的填充和待

装板材的装载方向检测等重点问题上应用了模仿人装箱算法,确保了算法的实用性和有效性,并应用 3 个算例对算法进行了检验,实验结果表明该算法不但能在较短的时间内求解比较复杂的装箱问题,而且可以得到近似最优的结果,能够满足企业实际装箱需求.

参考文献

- 1 阎威武,田雅杰.集装箱装载的一种启发式算法.信息与控制,2002,31(4):353-356.
- 2 Martello S, Pisinger D, Vigo D. The three-dimensional bin packing problem. Operations Research, 2000, 48(2): 256-267.
- 3 Pisinger D. Heuristics for the container loading problem. European Journal of Operational Research, 2002, 141(2): 382-392.
- 4 张德富,彭煜,张丽丽.求解三维装箱问题的多层启发式搜索算法.计算机学报,2012,35(12):2553-2560.
- 5 翟钰,孙小明.多种物品三维装箱问题的一种启发式算法.上海交通大学学报,2007,41(8):1244-1247.
- 6 何大勇,查建中.遗传算法求解复杂集装箱装载问题方法研究.软件学报,2001,12(9):1380-1385.
- 7 刘嘉敏,马广焜,黄有群.基于组合的三维集装箱装入启发式算法的研究.工程图学学报,2005,26(1):22-25.
- 8 钟石泉,王雪莲.多箱型三维装箱问题及其优化研究.计算机工程与应用,2009,45(22):197-199.