

一种矩形件优化排样算法的研究

张伟 安鲁陵 孙金虎

(南京航空航天大学机电学院,南京 210016)

文 摘 针对在具有一定长宽尺寸的板材上进行矩形件排样的问题,结合遗传算法,设计了一种矩形件优化排样算法。该算法考虑到排样高度不超过板材长度的要求,可以实现换板,使剩余待排矩形件在新板材上继续排放。通过算例验证了该算法的有效性和合理性。

关键词 二维装箱问题,矩形件排样,遗传算法,复合材料

Research on Rectangular Packing Algorithm

Zhang Wei An Luling Sun Jinhu

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

Abstract A rectangular packing algorithm based on two-dimensional bin packing problem was designed. The algorithm was hybridized with Genetic Algorithm to solve rectangular packing problem. In consideration of the packing height not exceeding the length of board, a new board was added to arrange the remaining components. Examples show that the presented rectangular packing algorithm is effective and reasonable.

Key words Two-dimensional bin packing problem, Rectangular packing algorithm, Genetic Algorithm, Composite

1 前言

制造复合材料构件时需先完成预浸料毛坯展开、进行排样、组合下料,然后再铺层、形成构件。如何排样、下料,以减少废料、降低成本是航空业迫切需要解决的问题。复合材料铺层排样通常可转化为矩形件排样问题来研究^[1]。根据排样区域的具体情况,矩形件排样可以分为二维条料排放和二维装箱问题两大类。目前,国内对二维条料排放问题研究较多,本文主要研究二维装箱问题。

2 已有矩形件排样算法分析

二维矩形件的启发式和砌墙式算法^[2]、最低水平线排样算法^[3]、最低轮廓线搜索排样算法^[4]等应用较多,由文献^[4]可知,最低轮廓线搜索排样算法的排样效果较好。在实际生产中,复合材料板材往往有长度限制,将待排零件排放到板材上时,排样高度不能超出板材的长度要求。若零件排放到轮廓线后,排样高度超过板材长度,则需要换板排放此零件(图1)。虚线所表示的矩形件在排放时超出板材的高度,则需要在新板材上排放。

已有排样算法大多没有考虑板材长度的限制,所以排放效果不好。如运用最低轮廓线搜索排样算

法^[4],对29个具有不同长宽尺寸的复合材料矩形零件在一定长、宽的板材上排样,得到图2所示的结果,图中黑色区域是被浪费的区域,可以看出常规的方法存在以下问题。

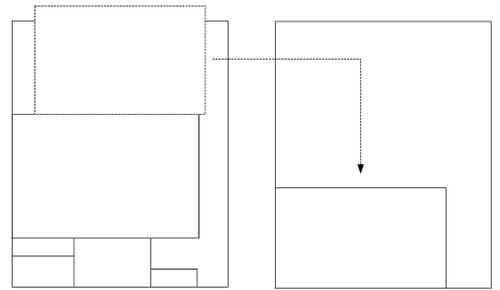


图1 换板排样示意图

Fig. 1 Sketch map of packing on a new board

(1) 第一块板材上右边缘材料浪费过多。

(2) 在第一块板材上排 R 零件时,虽然零件排放时排样高度会超出板材的长度范围,但是并不代表 R 后待排零件就不可以在第一块板材顶端排放。如图2所示,排在第二个板材左下角的零件 R 不能在第一个板材上顶端排放,但是该零件后面的五个零件中还有可以排到第一块板材的零件,满足排样高度不超过板材长度的要求。

(3) 已有算法没有考虑待排零件的排放顺序。

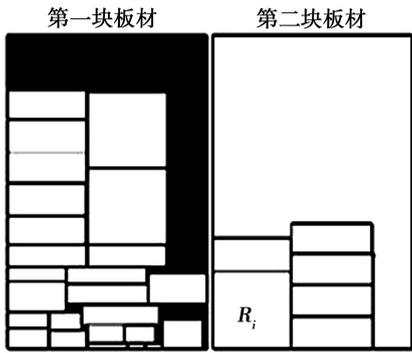


图2 排样结果
Fig.2 Packing result

3 基于二维装箱问题的矩形件排样算法

根据生产实际的要求,提出了基于二维装箱问题的矩形件排样算法。在实际中要求尽可能少的板材数目,并且在一块板材上尽可能增大利用效率。设待排的矩形零件分别为 $R_1, R_2, R_3, \dots, R_c, \dots, R_e$ 表示当前待排零件。以零件的长度值(矩形零件较长一边值)来进行排样。算法的具体程序流程如图3所示,其中 l_{\min} 存储剩余待排零件中的长度最小值,会随排样过程动态变化; h_{new} 表示排放当前矩形零件后该零件顶端的高度值,用于判断该零件排放是否会超出板材高度。

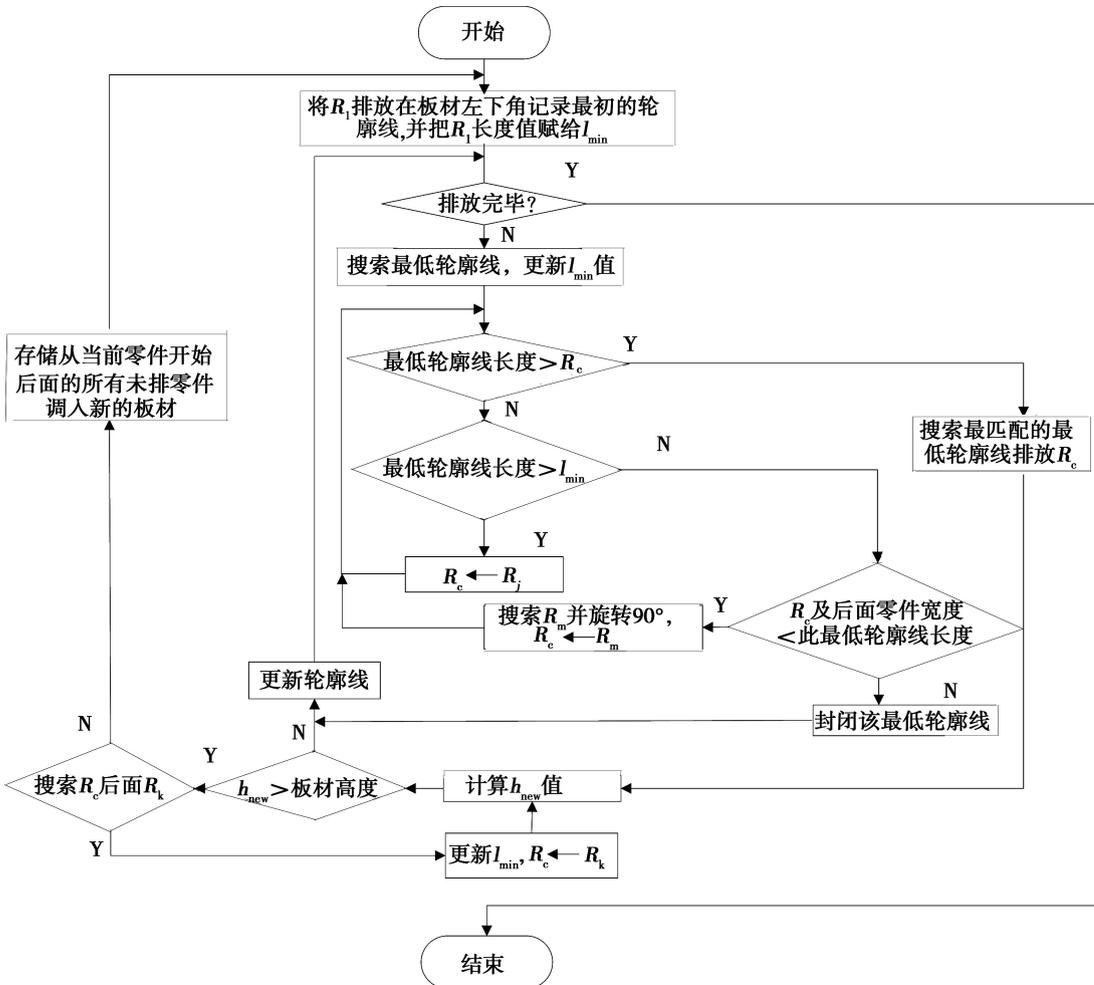


图3 基于二维装箱问题的矩形件排样算法程序流程图

Fig.3 Process flow chart of rectangular packing problem based on two-dimensional bin packing problem

该算法实现的具体步骤如下。

(1) 排放 R_1 在第一块板材的左下角,形成可排轮廓由两条水平线段组成。记第 k 条水平轮廓线为 $L_k(x_1, x_2, y)$, x_1, x_2 分别表示线段起点、终点的横坐标, y 表示线段的纵坐标,则排放 R_1 后的两条线段为 $L_1(0, l_1, w_1), L_2(l_1, W, 0)$, W 表示板材的宽度, l_v 和 w_v 分别表示第 v 个待排零件的长度和宽度值。

(2) 排放 R_c 时搜索高度最低的水平轮廓线段进行排放。根据下列三种情况分别处理。

①若只有一条最低水平轮廓线可排,则在剩余待排零件中搜索长度最合适的 R_j, R_c, R_j 互换位置进行排放。在排放的过程中必须满足排放该零件后排样高度不大于板材长度的要求。如果排放 R_c 超出板材长度则搜索 R_c 后待排零件是否存在可以排到第一块板材的零件,如果存在零件 R_m ,则互换 R_c, R_m 位置,继续在第一块板材上排放,否则将先存储所有待排零件,在新的板材上排放剩余零件。排放 R_c 后更新水平轮廓线段。

②若有若干条最低轮廓线段可排,则搜索长度最合适的进行排放 R_c 。同样要考虑①中排样高度的情况。排放 R_c 后更新水平轮廓线段。

(3)若所有最低水平轮廓线段都不能放下 R_c ,则进行搜索。如果最低水平线长度小于所有剩余零件各自长度并且此时的最低轮廓线段为末段,那么将搜索合适的待排零件 R_n 旋转 90° , R_c 、 R_n 互换位子进行排放,如 R_n 旋转 90° 后仍然不能在此最低轮廓线排放则将该轮廓线封闭,提升到与之相连的轮廓线处;如果最低水平线长度大于 R_c 后的零件 R_k 的长度,则 R_c 、 R_k 互换位置进行排放,更新水平轮廓线段。

(4)重复步骤(2),直到所有待排零件排放完毕。

4 基于遗传算法的优化排样算法

对一批矩形零件排样,不同的排样顺序效果不同。遗传算法^[5]优化排样目的是寻求一种较优的排样顺序,即考虑板材利用率尽可能大的原则,进行动态调整(图4)。

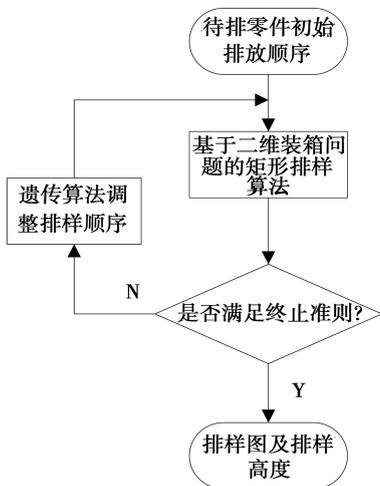


图4 基于遗传算法的优化排样算法流程图

Fig. 4 Process flow chart of packing algorithm based on genetic algorithm

以给定待排零件的顺序为初始顺序,采用十进制编码方式将每一个零件进行编号,用零件的长度信息进行排样。零件编号的一个排列构成整数串 $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, $1 \leq p_i \leq n$ 表示一种排样图(即一个解)。遗传算法对一个解的好坏用适应度函数评价,适应度越大,解的质量就越好,假设排样共用去 x 块板材,则本文采用适应度函数 $f(p) = \text{Area} / \text{Area All}$, $\text{Area All} = S(x-1) + W \times H$,其中 Area 表示排入板材的所有矩形零件的面积, Area All 表示所利用的板材总面积, $S(x-1)$ 表示 $x-1$ 块板材的总面积, H 表示第 x 块板材上的排样高度, W 表示板材宽度。

将给定 n 个零件的初始排样顺序随机产生的 m 种排样顺序作为父辈,并分别计算其适应度。父辈中的个体随机两两配对,进行单点交叉^[5]操作,产生 m 种新排样顺序构成子代种群。对交叉操作产生的子代个体,利用颠倒变异算子^[5]进行变异,即在 $1 \sim n$

http://www.yhclgy.com 宇航材料工艺 2010年 第3期

范围内随机产生2个变异位 B_1 和 B_2 ($B_1 < B_2$),以一定概率 p 对子代个体中位于 B_1 和 B_2 间的所有零件颠倒顺序。

对变异后的 m 种排样顺序依次求解其适应度,并分别与其父辈个体适应度进行比较,若大于其父辈个体适应度值,则接受此代个体,替换其父辈个体作为下一代的父辈个体,否则,不接受此子代个体,其父辈个体直接进化,作为下一代的父辈个体。

重复以上过程直到最好解的适应度达到要求或者满足预先设好的终止准则后停止计算,本文预先设好进化 $n!$ 代即停止计算,输出较好的解。

5 算例

排样算法结合遗传算法对第2节中给出的29个待排零件在同样大小的板材上排样,结果见图5。

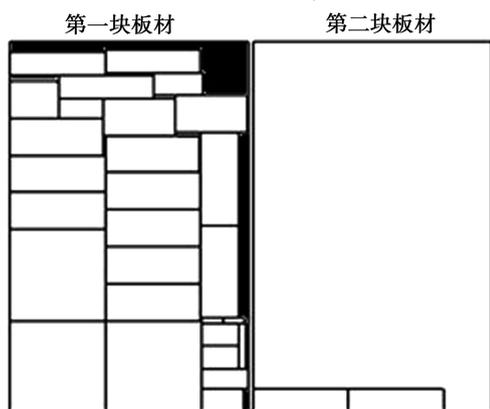


图5 本文算法所得排样结果

Fig. 5 Packing result of algorithm of this paper

由图5可以看出,待排的29个零件在第一块板材上并不能全部排下,还有两个零件排入第二块板材。图5排样结果对比图2排样结果,有了明显改进,黑色浪费区域面积明显减少。

6 结论

结合实际应用的要求进行分析,设计了基于二维装箱问题的矩形件排样算法。并结合遗传算法优化了排样顺序,使板材排样更紧凑,显著提高了材料利用率。

参考文献

[1] 邓冬梅,周来水. 矩形件排样的研究进展[J]. 宇航材料工艺,2006,36(5):16-20

[2] 张德富,韩水华,叶卫国. 求解矩形 Packing 问题的砌墙式启发式算法[J]. 计算机学报,2008,3(31):509-515

[3] 贾志欣. 面向发电设备制造的小料优化排样原理与关键技术[J]. 四川大学,2002

[4] 邓冬梅,周来水,安鲁陵,等. 矩形件优化排样的研究[J]. 宇航材料工艺,2007,37(4):15-18

[5] 赵新芳,崔耀东,杨莹等. 矩形件带排样的一种遗传算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2008,20(4):540-544

[6] 龚志辉,黄星梅. 二维矩形优化排样算法的改进研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2003,30(6):47-49

(编辑 吴坚)