

基于填充算法的矩形件排样优化求解

陶献伟 王华昌 李志刚



陶献伟 硕士研究生

摘要: 针对矩形件优化排样问题, 提出了一种将填充算法和遗传算法相结合的优化排样方法。该方法应用填充算法对遗传算法作预处理, 使矩形件排样适用于“一刀切”的下料工艺, 并克服了填充算法局部搜索的缺点, 使搜索空间由一点扩大为多点, 最终可获得总体最优的排样结果。算例表明, 该优化排样算法运算速度快, 具有广泛的适应性。

关键词: 矩形件; 优化排样; 填充算法; 遗传算法

中图分类号: TH162

文献标识码: A

矩形件优化排样是在给定的矩形板材上将一系列矩形件按最优方式进行排布, 以达到最大限度利用板材的目的, 其实质是一个组合优化的二维布局问题, 具有工件种类多、数量大等特点, 是计算复杂性最高的一类 NP 完全问题, 至今还无法找到解决该问题的有效多项式时间算法。

国内外不少学者做了很多研究工作, 曹炬等^[1]的背包算法具有很高的实用价值, 崔耀东^[2]的组块技术能够得到较好的排样效果。但是, 前者是近似优化算法, 后者是局部搜索方法, 均未对遗传算法作任何预备处理, 仅将遗传算法选择、复制、交叉、变异思想应用于矩形件排样, 达不到排样的总体最优, 前者虽可达到最优解, 但使运算量大规模增加, 且不适合“一刀切”的下料工艺, 仅适用于“正交切割”。

笔者提出了一种填充算法, 该算法是一种接近最优解的局部搜索算法, 适用于矩形件毛坯的优化排样。

1 填充算法

1.1 毛坯排样的目标函数

如何在板材上最大限度地下载, 使板材的利用率最高, 是算法要解决的问题。设板材的长度为 L 、宽度为 W 、工件种类数为 N , 第 i 种工件长度为 L_i 、宽度为 W_i 、数量为 N_i , 则优化排样的目标函数为

$$\max \sum_{i=1}^N L_i W_i N_i / (L W)$$

1.2 约束条件

为寻求零件在板材上的一个最优布局, 若对

零件所有可能位置均进行测试和评估, 且从中选择利用率最高的布局, 则计算量极大。因此, 必须规定一些约束条件, 以减少计算量, 加速搜索。实际应用中, 主要应满足如下约束: ① 排样方案需要满足剪切工艺要求, 采用一刀切的切割方式, 且同一类型的零件尽可能相邻排列, 以提高切割生产率; ② 工件相互靠紧, 互不重叠, 不能排到板材之外; ③ 符合最左最低原则, 即第一个被选中的零件应放置在原料的左下角, 其余零件则尽量放置在剩余空白的最左最低位置; ④ 对已经排放好的零件, 在排放下一个零件时, 其位置不变。

1.3 生成条料

排样问题是二维布局的问题, 化二维布局为一维布局, 即沿板材的宽度方向不断产生条料。按照何种方式在板材上产生条料, 是优化排样需考虑的问题。矩形件优化排样的条料生成方式一共有 4 种, 本算法只涉及其中 2 种, 即沿板材宽度方向连续横排和连续纵排。

1.3.1 连续横排

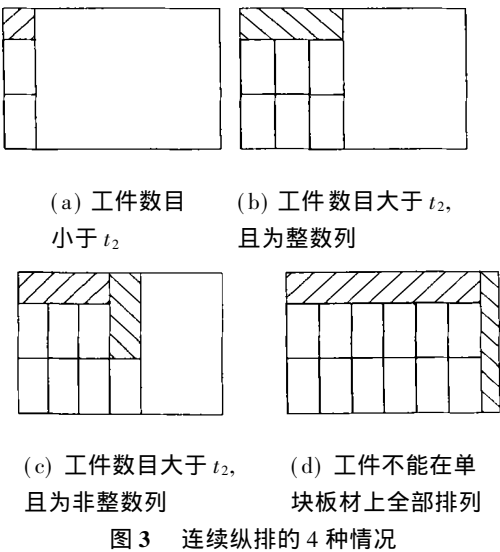
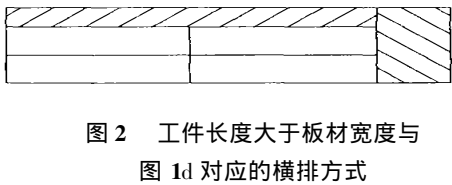
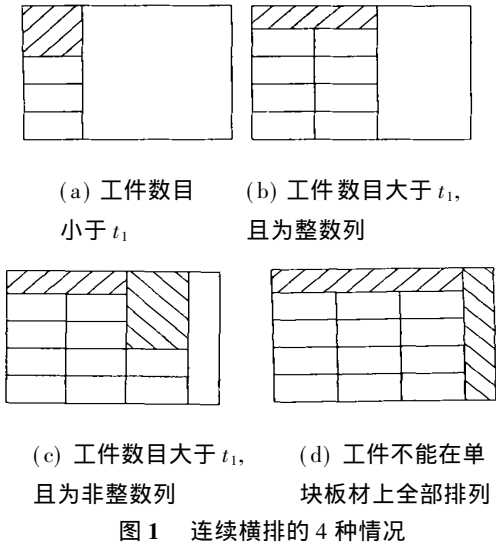
沿板材宽度方向对同一工件 i 连续横排, 则沿板材宽度方向排满一列该种工件的数量 $t_1 = W / W_i$, 工件所排的列数 $c_1 = N_i / t_1$ 。由于工件数目的不同, 可能会出现图 1 所示的 4 种情况。

如果工件长度大于板材宽度, 若采用连续横排方式, 则与图 1d 对应的排样方式见图 2。

1.3.2 连续纵排

沿板材宽度 W 方向对同一工件 i 连续纵排, 则沿板材宽度方向排满一列该种工件的数量 $t_2 = W / L_i$, 工件所排的列数 $c_2 = N_i / t_2$ 。由于工件数目的不同, 可能会出现图 3 所示的 4 种情况。

根据工件的信息, 算法判定工件是否排完。如果没有, 则依据判断准则决定选用连续横排或者



连续纵排, 然后根据工件数目决定采用何种处理。与此同时, 初始化空白矩形信息, 预备对其填充。

1.4 选用条料生成方式的判断准则

由于工件的不确定性, 算法必须考虑各种各样的情况, 使不同种类的工件都可以最优的排样方式下料。

算法中采用局部利用率 R 决定所用的排样方式。所谓局部利用率是指第 i 种工件的面积总和与排列该种工件所耗用的板材的比率, 假如工件种类只有一种, 则局部利用率即是有效板材利用率。

设第 i 种工件横排时的两种局部利用率为

$$R_1 = N_i L_i W_i / (c_1 W) \quad R_2 = N_i L_i W_i / (c_2 W)$$

计算二者的最大值, 即 $\max\{R_1, R_2\}$, 根据计算结果来决定选用何种排样方式, 以确保局部利用率最高。

1.5 空白矩形的填充

由上述排样过程可知, 不论采用何种排列方式, 一般都会产生一块或者多块空白矩形(图 1 ~ 图 3 中阴影部分为待填充的空白矩形)。如何对这些空白矩形进行填充, 如何判断所选用的填充工件是最合适的工件, 是问题的关键。

1.5.1 一般空白矩形的填充

第 i 种工件在对当前空白矩形进行填充时恰好能完全排样, 从而产生的空白矩形, 称为一般空白矩形。显然, 最原始的一般空白矩形即是板材本身。排列工件时, 已经记录了空白矩形长度 L_j 和宽度 W_j 的信息, 例如, 图 1c 有 2 块待填充空白矩形, 分别为空白矩形 1 与空白矩形 2。空白矩形 1 的参数为 $L_{j1} = L_i c_1$, $W_{j1} = W - W_i t_1$; 空白矩形 2 的参数为 $L_{j2} = L_i$, $W_{j2} = W - W_i (N_i \% t_1)$ ($\%$ 表示取余)。类似地, 可以得到其它排样情况空白矩形的参数。

每块空白矩形都可以视为待排样的板材, 对未排工件分别进行横向排列和纵向排列试探, 判断是否能够对其进行填充。如果能够填充, 则按照上述判断准则选择横向填充或纵向填充, 进而得到排样的条料。在完成上述填充过程的同时, 在原空白矩形上会产生更多更小的空白矩形, 调用填充算法对其进一步填充, 直到任何待排工件都不能再填充为止。

1.5.2 结尾空白矩形的填充

当板材的剩余部分不能横排任何待排工件时, 使用上述排样方法无法对此空白矩形进行排样, 此空白矩形产生在当前空白矩形的最右边结尾部分, 称为结尾空白矩形。

结尾空白矩形的长度 L_k 可由已经产生的条料求得, 而其宽度与原空白矩形的宽度 W_j 相同。基于上述约束条件, 对结尾空白矩形只能采用纵排方式, 即用待排工件对其纵向试探。如果满足约束条件:

$$W_i < L_k \& \& L_i < W_j$$

式中, $\&\&$ 为逻辑与, 即 $W_i < L_k$ 和 $L_i < W_j$ 要同时成立。则可选用纵排方式对其填充, 并且对由此产生的更小的空白矩形依照填充算法继续填充, 直到无法填充任何待排工件为止。完成对空白矩形的填充后, 对剩余待排工件沿宽度方向排列、填充, 如此循环, 直到工件排样完毕。

1.6 填充算法

基于上述方法和准则构造的排样填充算法可描述如下:

(1) 从文本文件读入板材的长度 L 、宽度 W 与工件种类数 N 、工件的长度 L_i 、宽度 W_i 与工件数目 N_i 。

(2) 将工件按长度、宽度、面积中的一种方式从大到小排序。

(3) 令 $i = N - 1$, 若 $i \geq 0, N_i > 0$, 判断工件长度是否大于板材宽度, 如果是, 采用连续横排, 转(6), 否则, 顺序执行。

(4) 对于所有待排工件计算最小工件长度 $L_{\min} = \min\{L_1, L_2, \dots, L_N\}$ 。

(5) 分别计算局部利用率 R_1, R_2 , 并取 $\max\{R_1, R_2\}$, 由此判定选用连续横排或者连续纵排。

(6) 对于所产生的空白矩形进行填充, 令 $k = N - 1$, 若 $k \geq 0, N_k > 0$, 对工件 k 进行试探填充, 若满足约束条件, 则调用相应空白矩形填充算法对其填充。对于所产生的新空白矩形, 继续调用填充算法, 直到不能填充任何工件为止。填充完毕后令 $k = k - 1$, 更新工件数目。

(7) 如果剩余板材长度大于 L_{\min} , 则返回(3), 否则, 调用结尾空白矩形填充算法对其填充, 更新工件信息。若工件的总数目大于零, 产生下一张板材, 返回(4), 否则, 顺序执行。

(8) 输出排样结果, 包括用于输出图形的坐标文件和每块板材的排样信息。

(9) 终止。

2 最优求解算法

上述填充算法属局部搜索算法, 虽然得到的排样结果比较好, 但达不到全局最优。

利用填充算法的排样存在一个缺陷, 即在产生条料时只是按照对工件的某种排序依次产生, 虽然能够保证所有空白矩形都能得到较好的填充, 却不能保证第 i 个工件在该位置是最合适的。因此, 确定第 i 个工件的最优位置成为本算法的关键。

为解决上述问题, 将遗传算法^[3,4]思想应用于填充算法中, 扩大初始解的数量, 增加解的空间, 从而使全局优化成为可能。

2.1 群体初始化

染色体是遗传算法的基本单位, 这里定义工件的每种组合为一条染色体, 而第 i 种工件在组合中的位置就是染色体的基因。因此, 排样就有

$N!$ 个染色体, 即问题的初始解有 $N!$ 组, 对于工件种类较多的排样问题, 这是一个庞大的初始群体。

染色体 $C = [P_1 \dots P_i, P_{i+1} \dots P_N]$, 其中基因 P_i 代表第 i 个工件的位置。工件不同的排列组合可构成不同的染色体, 例如 $C = [P_1 \dots P_{i-1}, P_i \dots P_N]$ 便是另外一条染色体。

将工件按照面积排序, 得到一条较好的染色体, 依次调换染色体中基因的位置, 便会由此产生大量染色体。本算法取初始解为 N^2 条染色体。

2.2 适应度函数

遗传算法是一种随机的全局多点搜索算法, 其目标函数即是适应度函数。对于优化排样问题, 适应度函数即是上述毛坯排样的目标函数。适应度函数值越大, 则相应解越优。首先构造若干染色体, 然后对这些染色体进行搜索, 目标是得到更高的板材利用率。

2.3 优化染色体

由于搜索空间的增加, 运算量也会倍增。为解决时间复杂度与最优解获取间的矛盾, 必须保证所选取的染色体是众多染色体中较为优良的。

剥夺不良染色体的遗传权利, 使较好的染色体进行变异, 这样就可能得到更为优化的解。按照遗传算法中优胜劣汰方法得到的解是相当理想的, 并且运算速度很快。

2.4 求解算法

板材利用率达到预定值停止或者完全搜索完毕自行停止由算法本身控制, 称为停止准则。对于适应度可能低于当前最优解的染色体, 算法不对其进行搜索, 即是剥夺了该染色体的遗传权利。

综合填充算法和遗传算法的最优毛坯排样算法见图4。

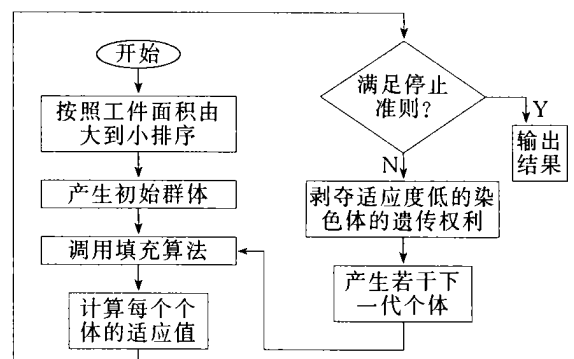


图4 最优求解算法流程图

此种算法借助遗传算法的思想, 从多点进行搜索, 具有隐含的并行性, 且算法结构简单, 容易实现。其核心是从当前点出发, 转向较优的搜索区域, 从而能够较好地克服填充算法局部搜索的缺点, 达到整体优化的目的。

3 排样实例

笔者基于上述算法开发了矩形件优化排样软件。该软件完全集成于 AutoCAD 中, 与冲裁件优化排样算法融为一体, 不但适用单一规格的板材, 对多规格板材也可以得到最优解。对多种情况排样的试验结果表明, 本算法对矩形件排样有着很强的适应性, 可以获得整体最优的排样方案。

下面两个算例分别按照工件面积大小和工件长度大小排列得到初始解, 然后根据适应度的运算结果调整工件组合顺序, 剥夺适应度低的染色体的遗传权利, 使染色体总是围绕当前最优结果变化, 最终得到适用于“一刀切”下料工艺的最优排样结果。

(1) 算例 1 板材长度为 465mm, 宽度为 352mm, 共有 6 种工件, 其数据见表 1, 排样结果见图 5, 板料利用率为 99. 114%。

表 1 工件数据

序号	工件数	工件长(mm)	工件宽(mm)
1	28	10	5
2	150	20	10
3	103	45	6
4	70	50	6
5	90	54	7
6	120	40	10

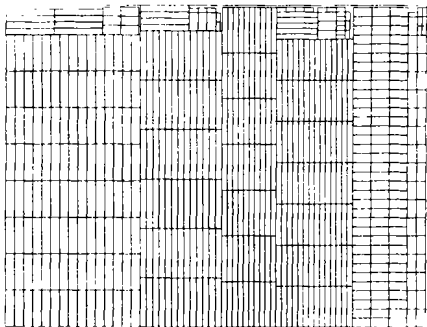


图 5 算例 1 排样图

(2) 算例 2 板材长度为 600mm, 宽度 400mm, 共有 10 种工件, 其数据见表 2, 排样结果见图 6, 板料利用率为 91. 261%。

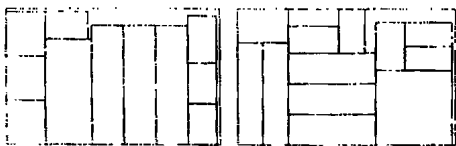


图 6 算例 2 排样图

表 2 工件数据

序号	工件数	工件长(mm)	工件宽(mm)
1	3	130	70
2	3	140	80
3	1	140	100
4	1	220	210
5	3	240	90
6	2	300	70
7	3	120	80
8	3	350	90
9	1	310	130
10	3	130	110

算例 1 的板材尺寸与工件尺寸差别较大, 能够得到很高的板材利用率, 算例 2 属于小板材大工件, 也能够达到理想的利用率。

4 结论

(1) 本文提出了一种适用于矩形件优化排样的填充算法, 其基本思想是将待排工件依据一定约束条件填充到不断产生的空白矩形中, 直到排样完毕。因为小工件更容易用来填充, 因此算法尤其适用于工件之间尺寸差别较大的情况。

(2) 排样的连续性使工件适用于“一刀切”的下料工艺。

(3) 将遗传算法思想与填充算法相结合, 较好地克服了填充局部搜索的缺点, 使问题的求解空间从一点扩大到多点, 可在较短时间内找到排样的最优解。算例表明, 该矩形件优化毛坯排样方法具有很强的适应性, 可获得令人满意的排样效果。

参考文献:

[1] 曹炬, 周济, 余俊. 矩形件排样的背包算法. 中国机械工程, 1994, 5(2): 11~12

[2] 崔耀东. 矩形毛坯下料的一种优化算法. 机械工艺师, 1998(6): 21~24

[3] 刘勇, 康立山, 陈毓屏. 非数值并行算法——遗传算法. 北京: 科学出版社, 1995

[4] Mak K L, Wong Y S, Chan F T S. A Genetic Algorithm for Facility Layout Problems. Computer Integrated Manufacturing Systems, 1998, 11(1-2): 113~127

(编辑 苏卫国)

作者简介: 陶献伟, 男, 1978 年生。华中科技大学(武汉市 430074)材料科学与工程学院塑性成形模拟及模具技术国家重点实验室硕士研究生。研究方向为板材套裁优化排样 CAD 算法及其系统。王华昌, 男, 1968 年生。华中科技大学材料科学与工程学院塑性成形模拟及模具技术国家重点实验室讲师。李志刚, 男, 1945 年生。华中科技大学材料科学与工程学院塑性成形模拟及模具技术国家重点实验室教授、博士研究生导师。

Key words: interpolation Huffman code tree
EDM blade disk

An Improved Method Based on Evolutionary Programming for Multi-Shaker Random Vibration Control

Han Jun (Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, China) Bao Ming Ni Hongwei p 1100-1103

Abstract: Aiming at the problem of the solution to the generalized inverse algorithm for the compensation matrix in multi-shaker random vibration control, in this paper a method for optimizing the initial values of the compensation matrix is proposed by the Evolutionary Programming (EP), which resolved the problem with nonlinear and extremum searching within a wide interval. It is shown through a simulation experiment for the dual-shaker random vibration control system that, the computational time is decreased under the same precision by introducing the generalized inverse methods to the random vibration control process to solve the compensation matrix with EP, and the singular property near the resonance peaks has been improved. It makes on-line applications of the generalized inverse algorithm to the multi-shaker random vibration control be possible.

Key word: multi-shaker random vibration control generalized inverse evolutionary programming

Optimal Solution of Rectangular Part Layout Based on Rectangle-Filling Algorithm

Tao Xianwei (Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China) Wang Huachang Li Zhigang p 1104-1107

Abstract: The rectangle-filling algorithm is introduced in this paper. Integrated with genetic algorithms, this method will be much more effective for rectangular part optimal layout. By this way, the optimal solution of rectangular part layouts can be successfully achieved. It is proved that this method is very practical and useful.

Key words: rectangular part optimal layout rectangle-filling algorithm genetic algorithm

Modeling for Reconfigurable Assembly Systems

Yu Jianfeng (Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China) Yin Yuehong Chen Zhaoneng p 1108-1111

Abstract: This paper initially introduces a novel concept of reconfigurable assembly systems. The knowledge-based Timed Colored Objected-oriented Petri net (TCOPN) is used to model this kind of assembly systems. The assembly robot, product transferring device and part buffer are described by OPN respectively. The assembly module which performs assembly operation is presented. The modules are driven by the messages, which are linked in serials or in parallels. The modularization characteristics can rapidly change the model when the system is changed.

Key words: reconfigurable assembly system Petri net assembly module modeling

Comparative Study on Organization Mechanism of Enterprise Cluster and Virtual Enterprises

L Jian (Xi'an Jiao Tong University, Xi'an, China) Sun Linyan Ma Xinli p 1111-1114

Abstract: In terms of definition, characteristics, building modes, and advantages, a comprehensive summary and comparativity research of two inter-enterprise organizations, namely enterprise cluster (EC) and virtual enterprises (VE), is provided with a view of finding a suitable integration organization for China. Virtual enterprise cluster (VEC) is presented as a more competitive

organization model which can combine advantage of two models. Then, we classify VEC into four types involved symbiotic-VEC, appendicular-VEC, autoecious-VEC, and mixed-VEC. Competitive advantages of VEC are analyzed in the end.

Key words: enterprise cluster virtual enterprise virtual enterprise cluster comparative classification

Study on Reconfigurable CAD/CAM System for WEDM

Wang Wei (Nanjing University of Aeronautic and Astronautics, Nanjing, China) Zhai Hongjun An Luling Liu Zhengxun Zhu Di p 1115-1117

Abstract: Reconfigurable CAD/CAM System for WEDM (Wire-cut Electrical Discharged Machining), which belongs to information platform in manufacturing, is part of RMS (Reconfigurable Manufacturing System). In this paper, according to the feature of WEDM, a component-based model of CAD/CAM system is introduced, aiming at reconfiguration. And the development technologies of component, i.e. specifications, encapsulating and normalization, are analyzed respectively. With ACIS, a geometry platform, a reconfigurable CAD/CAM system for WEDM has been studied, which is met with reuse of the components and constant developing. Further, adding the parametric design and intelligent technical database modules are possible in the future.

Key words: WEDM CAD/CAM reconfigurable component technology

Study on Process Quality Control System Based on Computer Technology

Liu Haiying (Shandong University, Jinan, China) p 1118-1121

Abstract: Presently, for most enterprises the situation is that the obsolescence equipment and technology resulting in the low product quality, so based on the analysis of the process quality control concepts and methods, the assumption of computer-based on-line process quality control is put forward. The feasibility to operate the control system according to the statistics theory, control method and computer technology is also analyzed. On the view of economy, practicability and local maneuverability, on-line process quality control is achieved by the combined usage of computer technology, on-line inspection technology, sensor technology, internet and database technology together with quality control method. This system can be used to control quality not only for the single process but also the multiple processes and territorial, the feasibility and economy analysis for process quality and the system itself also can be implemented.

Key words: process quality control computer technology data collection and processing

Study on Integration of Distributed PM and Workflow in Collaborative Product Development Environment

Kong Jianshou (Nanjing University of Science & Technology, Nanjing, China) Zhang Youliang Wang Huifen Chen Shiling p 1122-1125

Abstract: This paper introduces a kind of management mode oriented to the collaborative product development (CPD) based on the requirement for the process management in the distributed CPD environment and the characteristics of the distributed project management and workflow technology. The architecture of distributed PM/workflow integration is provided to realize the information integration in the process management. According to the implement technology of a sharing database, task model and its scheduling is studied to realize the function integration of PM and Workflow, which supports the het-