

基于遗传算法的二维不规则形排样研究

李 阳¹, 赵华东², 杨 威³

(1. 郑州大学 数学系, 河南 郑州 450001; 2. 郑州大学 机械工程学院, 河南 郑州 450001;
3. 中冶南方工程技术有限公司, 湖北 武汉 430223)

摘 要: 二维不规则零件的排样问题, 在理论上属于 NP 完全问题, 有着较高的计算复杂度, 求解很困难, 但是在工业上有着广泛的应用, 迫切需要解决此类问题. 笔者结合启发式算法思想, 将二维不规则图形排样问题建模成一个变异的旅行商问题, 采用遗传算法求解. 并在经典 BL 排样算法基础上进行改进, 提出了一种基于多路径搜索的图形排样算法, 在此排样算法基础上, 应用遗传算法优化计算, 成功的解决了不规则图形的排样问题.

关键词: 排样问题; 排样算法; 二维不规则形图形排样; 遗传算法; 多路径搜索

中图分类号: TB114.1 **文献标志码:** A

0 引言

在机械制造、玻璃切割、木材加工、家具下料、服装裁剪等部门, 都存在大量的图形排样问题, 排样效果直接决定了下料材料利用效率, 影响到产品生产成本和企业的经济效益. 二维不规则形排样问题就是将一系列形状不规则的图形排放在给定的排样区域中, 找出其最优排列方式, 使其尽量摆放紧凑. 从理论上讲, 不规则形排样问题属于 NP 完全问题, 计算复杂性很高, 尚无有效的多项式算法. 但由于实际生产需要, 工业中迫切需要能满足不规则形的排样计算方法^[1-2].

启发式算法能从概率意义上以随机方式寻求到近似最优解, 笔者以遗传算法为工具, 结合旅行商问题 (Traveling Salesman Problem, TSP) 求解思路, 研究了一种二维不规则形排样问题求解方法, 包括排样问题的建模、遗传算法求解设置等, 较好地解决了二维不规则图形的排样问题.

1 排样问题建模^[3]

二维不规则形件排样问题可以建模成一个变异的 TSP 问题来求解: 每一个图形可以看作是 TSP 问题中的一个目标点; 将一系列图形排列按照一定规则在排样区域中摆放所得的外包络形面

积视作以该序列遍历所有目标点的总路程. 与 TSP 问题不同的是, 下料问题中每一个图形有一个旋转角度, 对于同一种图形排列顺序, 不同的旋转角度可能占用区域不同.

因此, 对于多边形 $g(i)$, 设其摆放角度为 $\alpha(i)$, 则该多边形在排样区域中的摆放位置可表达为:

$$G(i) = [g(i) \quad \alpha_i] = \left[\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_m \\ y_1 & y_2 & \cdots & y_m \end{bmatrix} \alpha_i \right] \quad (1)$$

对于多边形 $g(1), g(2), \dots, g(i), \dots, g(n)$, 设其对应角度依次为 $\alpha(1), \alpha(2), \dots, \alpha(i), \dots, \alpha(n)$, 则任一种优化下料方案 $Case i$ 为

$Case i = Random \{ G(i) \} \mid_{i=1 \sim n}$, 其中 $Random \{ X(i) \} \mid_{i=1 \sim n}$ 定义为 $X(i) (i=1, 2, \dots, n)$ 的随机排序序列.

1.1 编码方法

求解约束优化问题时原始的二进制串编码方法对于排样问题已不再适用. 在排样问题中, 种群中的个体表示排样图形摆放角度和排列顺序的组合方式, 可定义图形 $G(i)$ 的排放角度为 $angle(i)$, 则任意图形在排样中的位置可表达为:

$$Graphic(i) = \left[\begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_m \\ y_1 & y_2 & \cdots & y_m \\ R_1 & R_2 & \cdots & R_m \end{bmatrix} angle(i) \right] \quad (2)$$

故种群中各个体可表达为:

收稿日期: 2011-01-02; 修订日期: 2011-04-09

通信作者: 赵华东 (1978-), 男, 郑州大学讲师, 博士, 主要从事智能算法及现代设计方法的研究, E-mail: huadong@zzu. du. cn

$Individual = Random \{ Graphic(i) \} \mid_{i=1}^{ton}$ (3)

其中: $Random \{ Graphic(i) \} \mid_{i=1}^{ton}$ 为 $Graphic(i) \mid_{i=1}^{ton}$ 的随机排序序列;这种编码方式实现了从编码到排样解的一对一映射。

1.2 排样算法

对排样图形进行编码后,还需要通过特定规则将各图形按照编码中指定的顺序、摆放角度放入到排样区域中,这一规则即为排样算法。在各类排样算法中,BL(Bottom-Left)^[4]算法是通用性最好、应用最为广泛的一种排样算法。其基本原理是将图形排入排样区域后逐步向左下方移动,并同时判断图形间的相交性,直至到达最低(Bottom)、最靠左(Left)的位置。

另外,近年来还出现了NFP(Not-Fit-Polygon)排样算法。这种方法的原理是通过求排样图形之间靠接而不干涉的方式来保证每一个多边形紧密结合,由于不规则件形状复杂、多变,BL算法无法适应不同的形状变化;且不规则形件排样时可能的摆放角度范围大,不同的角度也容易导致大面积的排放死角,影响了经典BL解码算法的使用。针对这些问题,笔者提出了一种介于二者之间的排样解码算法:一方面保留BL算法的基本思路,仍采用向左、向下移动的基本原则;另一方面借鉴NFP的自适应能力,采用多路径的搜索方式,增大搜索范围,以其中最佳的搜索结果作为合理排样结果。多路径搜索算法的主要特征在于除了保留经典BL算法的搜索路径起始点(P_1, \dots, P_{i-1} 的外包络矩形的右上角点)外,另增加一个次要排样起始点 P_1, \dots, P_{i-1} 的外包络矩形的右侧边的中点;搜索规则除了经典BL算法的向左移动优先的路径外,另增加一个向左向下同步移动路径,2个起始点、2条搜索规则共同构成了4条搜索路径。

对于给定的图形序列 P_1, P_2, \dots, P_n 算法的基本流程如下。

步骤1:初始化板材的主要排样起始点 V_p 、次要排样起始点 V'_{sp} 为其左下角点(0,0);对排样零件图形 P_1, P_2, \dots, P_n , 设 P_i 的外包络矩形的左下角为 $V_{bl}(X_{bl}, Y_{bl})$, 右上角为 $V_{tr}(X_{tr}, Y_{tr})$;

步骤2:将 P_i 排入板材区域中,移动 P_i 直至其左下角点 $V_{bl}(X_{bl}, Y_{bl})$ 与板材排样起始点 V_p 对齐;

步骤3: $i = i + 1$;

步骤4:对图形 P_i , 计算 P_1, P_2, \dots, P_{i-1} 的外包络矩形右上角点为 $V_a(X_a, Y_a)$, 并更新板材的

主要排样起始点为 V_p 到 $V_a(X_a, Y_a)$, 更新板材次要排样起始点 V'_{sp} 到点 $(X_a/2, Y_a)$;

步骤5:将 P_i 放入板材区域中,移动 P_i 直至其左下角点 V_{bl} 与 V_p 对齐,以 V_p 为起始点,采用两条路径搜索最佳排样结果;

步骤6:以一定步长 $lstep$ 向左移动 P_i , 直至与其它图形发生碰撞,不能再向左移动为止;

步骤7:以一定步长 $bstep$ 向下移动 P_i , 直至与其它图形发生碰撞,不能再向下移动为止;

步骤8:重复步骤5.1、步骤5.2过程,直至不能再向左、向下移动;记录此时 P_1, P_2, \dots, P_i 的外包络矩形面积 S_{lf} 作为从起始点 V_p 按照 Left-first 路径搜索的排样结果;

步骤9:移动 P_i 直至其左下角点 V_{bl} 与 V_p 对齐,以 V_p 为起始点,采用两条路径搜索最佳排样结果;

步骤10:向左移动 P_i 步长 $lstep$, 检查是否与其他图形发生干涉,若干涉则退回;不干涉则继续;

步骤11:向下移动 P_i 步长 $bstep$, 检查是否与其他图形发生干涉,若干涉则退回;不干涉则继续;

步骤12:重复步骤1、步骤2过程,同时向左下方移动 P_i , 直至不能再移动;记录此时 P_1, P_2, \dots, P_i 的外包络矩形面积 S_{bl} 作为从起始点 V_p 按照 Bottom-Left 同步路径搜索的排样结果;

步骤13:移动 P_i 直至其左下角点 V_{bl} 与 V'_{sp} 对齐,以 V'_{sp} 为起始点,采用步骤5中的 Left-first 路径搜索排样结果,可得到从起始点 V'_{sp} 按照 Left-first 路径搜索所得 P_1, P_2, \dots, P_i 的外包络矩形面积 S''_{lf} ;

步骤14:移动 P_i 直至其左下角点 V_{bl} 与 V'_{sp} 对齐,以 V'_{sp} 为起始点,采用步骤6中的 Bottom-left 同步路径搜索排样结果,可得到从起始点 V'_{sp} 按照 Bottom-left 同步路径搜索所得 P_1, P_2, \dots, P_i 的外包络矩形面积 S''_{bl} ;

步骤15:比较 $S'_{lf}, S_{bl}, S''_{lf}, S'_{bl}$ 大小,以 $\min \{ S'_{lf}, S_{bl}, S''_{lf}, S'_{bl} \}$ 对应的排样结果作为 P_i 的最优排样结果;

步骤16:若 $i < n$ 则转步骤3继续下一个图形的排样;否则说明所有图形排样结束,转步骤11结束排样;

步骤17:记录排样结果,计算适应值函数,排样结束。

使用此算法对上图中的实例进行搜索,不同起始点、搜索规则所得的结果如下.

(1)起始点: P_1, P_2, \dots, P_{i-1} 的公共外包络矩形的右上方顶点(主要起始点);搜索规则为左优先规则(Left-First).

(2)起始点: P_1, P_2, \dots, P_{i-1} 的公共外包络矩形的右边中点,搜索规则为左-下同步规则(Bottom-Left-Together).

(3)次要起始点: P_1, P_2, \dots, P_{i-1} 的公共外包络矩形的右边中点,搜索规则为左优先规则(Left-First).

(4)次要起始点: P_1, P_2, \dots, P_{i-1} 的公共外包络矩形的右边中点,搜索规则为左-下同步规则(Bottom-Left-Together).

分析经典 BL 算法与多路径 BL 算法差异可知:经典 BL 算法对图形牌坊较为简单的矩形牌坊更为适用,用于不规则形排样时容易出现排放过程中“左高右低”问题,形成死角;而改进的多路径搜索的 BL 算法,可综合不同搜索路径的可行解,可有效的克服排样死角,并可避免经典 BL 算法执行时可能出现的排样图左侧高、右侧低的问题.

2 遗传算法求解设置

遗传算法是由美国密执安大学的 John. Holland^[5-6]教授于上世纪 60 年代首先提出的一种可用于复杂系统优化计算的全局优化概率搜索算法.经典遗传算法执行的基本流程如图 1 所示.一般来说,遗传算法主要由 4 个部分组成:编码机制、控制参数、适应度函数、遗传算子.对各个求解参数设置如下.

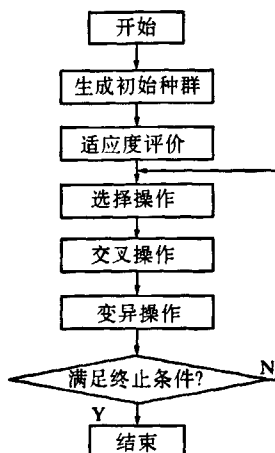


图 1 遗传算法流程图

Fig.1 Genetic algorithm flowchart

2.1 适应度函数

针对排样问题的特性,可将所有排样图形 $g(1), g(2), \dots, g(i), \dots, g(n)$ 的公共外包络矩形的面积作为评价排样效果的指标,故可定义适应度函数为:

$$f = \frac{1}{S_R[g(1), g(2), \dots, g(n)]} \quad (4)$$

式中: $S_R[g(1), g(2), \dots, g(n)]$ 为 $g(1), g(2), \dots, g(i), \dots, g(n)$ 的公共外包络矩形面积.

2.2 选择算子

为了增强算法的全局搜索能力,采用随机选择方式,根据各个个体的适应度函数评价结果决定其进入下代种群的概率.设个体 i 的适应度为 f_i ,种群中各个体的平均适应度为:

$$F_{\text{fit}} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n} \quad (5)$$

式中: n 为种群中个体的数量,则个体 i 产生后代的概率为:

$$P(i) = \frac{nf_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (6)$$

2.3 交叉算子

图形排样问题与旅行商问题(Travel Salesman Problem, TSP)有一定相似性.因此交叉算子也选用了在 TSP 问题中广泛应用的循环交叉^[5](Cycle Crossover);但图形定义方式为“顶点序列+旋转角度”,其中图形的摆放角度不适合采用循环交叉方式,因此在此选用了“循环交叉+算术交叉”的复合交叉算子:在进行交叉操作前,首先将遗传基因分离处理为图形序列、角度序列两部分,对前一部分进入循环交叉,后一部分进入算术交叉.

设有 2 个图形编码序列如下:

$\{(3, 50), (6, 26), (1, 96), (7, 156), (2, 302), (8, 276), (5, 102), (4, 63)\}; \{(6, 152), (1, 53), (5, 326), (2, 29), (8, 126), (3, 302), (7, 56), (4, 220)\}.$

(1)图形顺序序列循环交叉算子如图 2 所示:

首先对照两父代排列顺序,找出一个序号循环.并将第一个父代中在该循环上的序号复制到第一个子代中,删除第二个父代中在该循环上的序号;复制第二个父代的剩余部分填满第一个子代中的空档,完成第一个子代;交换两父代次序,

同理可得到第二个子代。

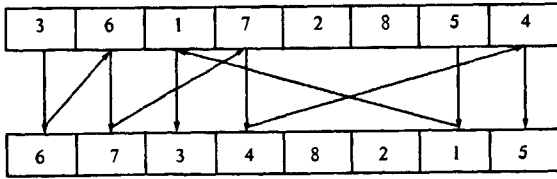


图2 循环交叉算子执行过程

Fig.2 The executive processes of recursion Operators' cross-operator

(2) 角度序列算术交叉算子

设交叉概率为 α , 交叉父代为 X'_A, X'_B , 则对应的子代 X^{i+1}_A, X^{i+1}_B 为:

$$\begin{cases} X^{i+1}_A = \alpha X'_B + (1 - \alpha) X'_A \\ X^{i+1}_B = \alpha X'_A + (1 - \alpha) X'_B \end{cases} \quad (7)$$

对上述排列角度:

$$\begin{bmatrix} X'_A \\ X'_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 50 & 26 & 96 & 156 & 302 & 276 & 102 & 63 \\ 152 & 53 & 326 & 29 & 126 & 302 & 56 & 220 \end{bmatrix} \text{选}$$

交叉概率为 $\alpha = 0.8$, 则对应子代为:

$$\begin{bmatrix} X^{i+1}_A \\ X^{i+1}_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 131.6 & 47.6 & 280 & 54.4 & 161.2 & 296.8 & 65.2 & 188.6 \\ 70.4 & 31.4 & 142 & 130.6 & 266.8 & 281.2 & 92.8 & 94.4 \end{bmatrix}$$

2.4 变异算子

对图形序列和角度选用不同的变异算子。

(1) 对图形序列

采用两点互换方式, 随机将图形序列中两个图形对调, 形成新序列如图3所示。

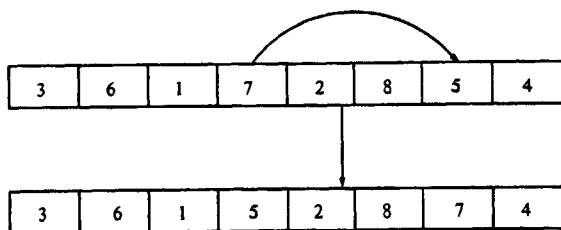


图3 图形序列变异操作

Fig.3 Graphic sequence mutation

(2) 对角度序列

在取值范围内以一定概率将角度的取值以任意值替代掉。

3 排样算例

按照上述排样问题模型及遗传算法设置, 试算排样算例: 算例图形个数为20个, 遗传算法种

群规模选为50, 个体间交叉概率0.7, 经过多次排样试算, 排样图如图4所示。

从本算例可以看出, 采用多路径搜索BL图形排样算法能够较好的实现不规则图形的优化排样。

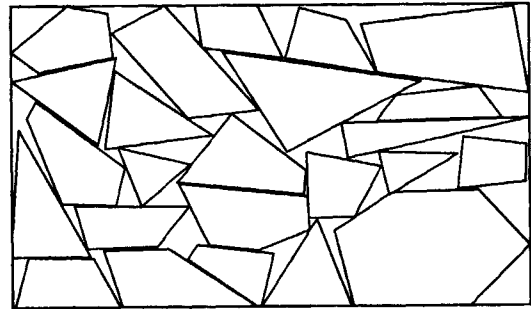


图4 遗传算法排样结果图示

Fig.4 The results of genetic algorithm layout icon

4 结论

(1) 提出的多路径搜索BL排样算法打破了传统BL算法, 成功的求解了不规则图形的排样问题, 对于排样问题的后续研究具有一定的借鉴意义。

(2) 对于类似于图形排样这种NP问题, 使用启发式算法具有较好的应用前景。由于缺乏有效多项式解法, 启发式算法的“近似最优”求解目标对于类似解法在工程中的应用具有较好的前景。

(3) 需要说明的是, 由于启发式算法的自身特性, 对上述排样问题求解过程而言, 除了合理的图形排样算法外, 对于算法的优化配置也是一个不能忽略的重要因素, 如遗传算法的适应度函数优化、算子优化及参数配置、终止条件选择等都是需要进一步研究的内容。

参考文献:

- [1] HOPPERE T. A genetic algorithm for a 2D industrial packing problem [J]. Computers and Industrial Engineering, 1999, 37(1-2): 375-378.
- [2] 曹矩, 周济. 矩形件排样优化的一种近似算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1995, 7(3): 190-195.
- [3] 杨威, 吴庆鸣, 张强, 等. 基于遗传算法的定长板材优化排样[C]. 2007年全国博士生学术论坛. 上海: 同济大学, 2007. 8.

(下转第98页)

Thermodynamic Analysis of Organic Rankine Cycle

MA Xin-ling, MENG Xiang-rui, WEI Xin-li, WANG Pei-ping, CHANG Jia

(School of Chemical and Energy Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: This paper presents energy analysis, thermodynamic calculation and exergy analysis for waste heat power generation system of organic Rankine cycle on the basis of the first and second laws of thermodynamics, and for selected 100 °C low-grade heat source and R245fa organic working fluid, calculates the thermal efficiency of the system in given operating conditions. It shows that the factors affecting the thermal efficiency are the state parameters of organic fluid of the evaporator export, the expander export and condenser interior. In order to reduce the irreversible losses, it is necessary to reduce the temperature difference of heat transfer and friction losses of every thermodynamic process. So measures that can be taken are to choose optimizational evaporator and condenser, to design and manufacture the expander of suitable organic working fluids. Installing the recuperator in the front of the entrance of the condenser can effectively reduce irreversible losses caused by heat transfer of temperature difference. Compared with ORC units with no recuperator, the thermal efficiency of the whole system is improved by 0.32%. The results obtained can be a reference for designing ORC system.

Key words: thermodynamics; waste heat power generation; organic Rankine cycle; analysis

(上接第 59 页)

- [4] STEFAN J. On genetical gorithms for the packing of polygons [J]. European Journal of Operational Research, 1996, 88(1):165 - 181.
- [5] MITSUO G, CHENG Rui-wei. Genetic algorithms and engineering design [M]. John Wiley & Sons, 1997.
- [6] 王凌. 智能优化算法及其应用 [M]. 北京: 清华大学出版社 & Springer Press, 2001: 159 - 166.
- [7] 王凌. 车间调度及其遗传算法 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [8] LIU Hu-yao, HE Yuan-jun. Algorithm for 2D irregular-shaped nesting problem based on the NFP algorithm and lowest-gravity-center principle [J]. Journal of Zhejiang University Science: Science in Engineering, 2006(4):121 - 125.

Packing Research of Two Dimension Irregular Shapes Based On Genetic Algorithm

LI Yang¹, ZHAO Hua-dong², YANG Wei³

(1. Department of Mathematics, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 3. WISDRI Engineering & Research Co. Ltd., Wuhan 430223, China)

Abstract: In theory, the packing problem of two-dimensional irregular shapes belongs to the NP-hard problems. It is very difficult to find the optimal solution for such a problem because of the high complexity of computation. However, the application of the packing which needs to be addressed urgently is extensive in industry. In this paper, combining with heuristic thinking, the two-dimensional irregular shapes nesting problem, which is solved using genetic algorithm, is modeled as a variant of the traveling salesman problem. And then, an improved multi-path search algorithm based on classic BL (Bottom-Left) nesting is applied in the irregular layout graphics problem successfully.

Key words: packing problem; layout algorithm; two-dimensional irregular shapes nesting; genetic algorithm; multi-path search