

二维不规则零件排样问题的研究*

On the Pattern Techniques of the Two-Dimensional Irregular Parts

黄红兵, 蒋望东

Huang Hongbing, Jiang Wangdong

(广西师范大学计算机科学系, 广西桂林 541004)

(Dept. of Comp. Sci., Guangxi Normal Univ., Guilin, Guangxi, 541004, China)

摘要: 综述二步法及实现二步法所要解决的零件间优化组合、多边形最佳包络矩形的求取和人机交互寻优处理等关键技术。

关键词: 不规则零件 排样 矩形包络 组合优化

中图分类号: TP391

Abstract: The two-step patterning for the two dimensional parts and relative techniques such as optimal layout, optimal rectangular enclosure of polygon are introduced. the spare chips.

Key words: irregular-parts, pattern, rectangular enclosure, combinatorial optimization

二维不规则零件的排样问题是寻找平面最优布局的优化问题, 即是将一系列二维不规则零件 P_1, P_2, \dots, P_n 合理地排放在原料上, 使原料的利用率(所有不规则件面积和/原料面积)最高, 并满足下面约束条件: (1) P_i, P_j 互不重叠; $i, j = 1, 2, \dots, n$; (2) P_i 必需放在 P 内, $i, j = 1, 2, \dots, n$; (3) 满足一定的排样要求^[1]。在很多工业部门, 如木材加工、玻璃切割、家俱下料、服装裁剪、皮革下料等部门中都存在大量的下料问题, 材料利用率的高低往往是由排样决定的。排样效果的好坏, 直接影响到产品成本和企业的经济效益。

从数学计算复杂性理论看, 排样问题属于具有最高计算复杂性的一类问题-NP 完全问题。因为存在计算上的“组合爆炸”, 求解十分困难^[2]。对于 NP 完全问题, 目前还没有找到解决该类问题的多项式算法^[2]。采用手工排样很难得到利用率很高的排样方案, 即使采用计算机排样, 也必须开发出高效的排样算法才能得到较好的排样方案。

求解二维优化排样问题的算法, 概括起来主要有 人机交互法、解析函数法、矩形包络法、启发式算法等^[3]。目前对排样问题研究得比较多的是矩形排样, 求解的方法多采用启发式算法。二维不规则零件实际形状复杂, 排样的求解难度很大, 研究相对比较

少。在实际排样中的零件很少是矩形的, 更多的是二维不规则零件。

目前对不规则排样的处理方法大体上可以分为两类: 基于规则零件排样处理的矩形近似法和对不规则零件直接处理两种方法。以目前已有的算法来直接进行二维不规则零件排样, 效果不佳。矩形近似法把不规则零件近似为矩形来处理(图 1), 从而把不规则排样转化为矩形排样, 这种方法简单易行。由于没有充分考虑零件具体的外形特征, 简单地把不规则零件当成矩形来处理, 会导致材料利用率的降低。对于二维不规则零件的排样, 一个常见的解决方法是采用二步法^[4]。

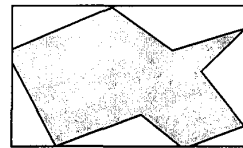


图 1 将不规则零件近似为矩形

1 不规则排样的二步法

二步法的基本思路: 首先对不规则零件的外轮廓进行离散化预处理, 根据零件的外轮廓特征将若干零件适当优化组合, 求出对应的最佳包络矩形, 同时记录各个不规则零件在相应的最佳包络矩形中的具体位置和各自排放的角度; 用矩形排样算法对问题进行求解。获得矩形排样结果后, 恢复矩形排样单元中的不规则零件在原来相对位置的原有几何形

状,从而得到不规则零件的排样结果^[5]。如果对排样结果不是最佳结果,需要对排样结果进行人机交互调整。

采用二步法来排样时,材料利用率受不规则零件形状的影响。实现时需要解决好如何确定零件间的最佳组合、最佳包围矩形的求取、求出的若干个包围矩形如何优化排样、板材中空闲区域如何填充等几个关键问题。

2 不规则零件间的组合

二维不规则零件属封闭的实体,其外轮廓由直线段、圆弧、高次曲线组成的。高次曲线可以由圆弧来拟合,而圆弧由直线段来逼近,所以二维不规则零件的外轮廓可看作由多边形组成的。

如何根据不规则零件的外轮廓特征,将若干个零件进行组合优化,合理地确定它们的相对位置和方向,会在很大程度上影响到最终的排样效果,这也是不规则零件优化组合的难点。

对于完全相同的2个不规则零件可以根据情况,按单排或对排的方式进行组合(图2),再求其最佳包围矩形;如果是2个同类的零件,可按180°转角组合,如果有可能,要考虑嵌套排样,这样可提高材料的利用率。可以证明:只有凹多边形才有可能实现嵌套排样(图3),凸多边形不可能实现嵌套排样。如果是2个形状互补的零件,则按互补部分相对的原则组合。多个零件的组合可按两两组合的方法逐步进行。图4中(a)和(b)是形状互补零件的组合,(c)是先将不同形状零件组合后再求其最佳包围矩形。

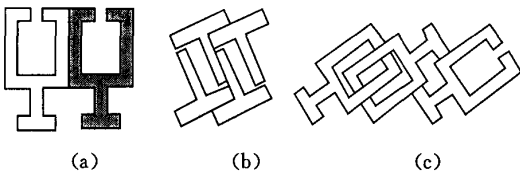


图2 相同零件的组合^[6]

(a)普通单排;(b)对头双排;(c)对头单排。

如果单个零件无法与其它零件进行优化组合,那么就直接求出其最佳包围矩形;如是2个同类或互补的零件,则先组合然后求其最佳包围矩形^[7]。

通过将各种不规则零件组合成大小不一的矩形块,把不规则排样转化为矩形排样,降低问题求解的复杂性。问题的求解效果受零件形状的影响,也与零件的组合优化效果有关。

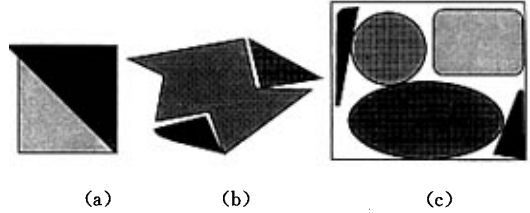


图3 相同凹多边形零件的嵌套排样^[4]

(a)2个三角形的组合;(b)形状互补零件的组合;(c)不同零件的组合。

将不规则零件适当组合后,下一步的工作是求取组合后图形的最佳包围矩形,以便将不规则排样转换为矩形排样。

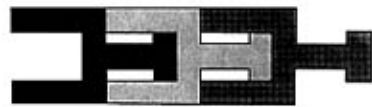


图4 不同零件的组合

3 多边形最佳包围矩形的求取

多边形的包围矩形是指完全包含了多边形上所有的点,且其各边均与多边形相接触的矩形^[1]。一个多边形的包围矩形随着多边形的摆放位置和方向的不同而不断变化。在同一多边形的无数个包围矩形中,其中只有一个面积是最小的,该面积最小的包围矩形称为多边形的最佳包围矩形。

定义1^[5] 顶点按逆时针方向排序的多边形,相邻三点 $p_i(x_i, y_i), p_j(x_j, y_j), p_k(x_k, y_k)$ 决定的2个矢量分别为 $l_i = p_j - p_i, l_j = p_k - p_j$, 如果 $l_i \times l_j > 0$, 则称中间点 $p_j(x_j, y_j)$ 为凸点。

可以证明只有使多边形的2个凸点之间的边或连线平行于坐标轴时,才有可能产生最佳包围矩形。根据这一性质,可以减少求多边形最佳包围矩形的计算量^[8]。图5是根据这一性质为一个多边形求出的最佳包围矩形。

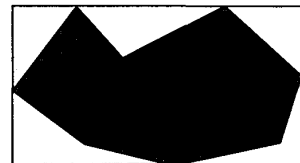


图5 多边形的最佳包围矩形

求取多边形的最佳包围矩形后,就可以利用矩形排样算法来进行优化排样。中外学者分别提出BL算法^[9],下台阶算法^[10],最低水平线算法^[11],DP算法^[12]等矩形排样算法,得到矩形排样结果后,再进行适当的还原处理,得到不规则零件的排样图。

4 人机交互优化排样

按照“二步法”排样得到的最后结果不一定是最佳结果,因为在很多情况下不规则零件内部往往存在空闲区,若干个零件组合后求得的包络矩形往往也存在不少的空闲区,此时得到的不规则零件排样图往往会有较多的空闲区域。为了进一步提高板材的利用率,需要进行人机交互排样,主要是对部分零件进行平移旋转操作,对空闲区域进行必要的填充等。填充空闲区域可以进一步提高材料的利用率,填充原则:

(1)空闲区最多只能填入一个零件的情况:如果有多个零件都可以同时填入空闲区,那么应该选取放入零件后剩余空闲区面积最小的零件来填充;

(2)空闲区可以同时填入多个零件的情况:根据零件的外轮廓特征选取若干零件进行组合,一一试填,最后以放入零件后剩余空闲区面积最小的一种组合来填充;

(3)将板材上的若干空闲区和未排样的零件,按面积从大到小的顺序排列。在对空闲区进行填充时先从小的空闲区开始,在保证零件小于空闲区的前提下,从最大的零件开始填充。

经过人机交互排样处理,最后就可以得到相对比较好的二维不规则零件排样方案。

5 结束语

利用“二步法”来处理二维不规则排样,优点是使问题处理起来比较简单,不足之处是材料利用率的高低在很大程度上受零件形状的影响,对于高度不规则的零件会造成原料的很大浪费,失去可行性。在处理大规模不规则排样问题时,CNA (Compact Neighborhood Algorithm)是个有效的算法^[13]。二维不规则零件的排样问题是个域相关性很强的问题,因此要想寻求一种在各种情况下都能取得最佳效果的通用排样策略是很困难的。研究高效的不规则多边形排样的算法,研究NFP(No-Fit-Polygon)的高效计算方法,使之能够实际应用,将是今后二维不规则排样研究的一个重点^[14]。如何才能使二维不规则

优化排样获得满意的效果,有待于作进一步的深入研究。

参考文献:

- 1 靳旭玲. 二维不规则排样问题的研究:[硕士论文]. 济南: 山东科技大学, 2003. 1~46.
- 2 康立山, 谢云, 尤矢勇, 等. 非数值并行算法. 北京: 科学出版社, 1994.
- 3 饶运清, 刘延林. 计算机辅助排样系统的研制. 计算机辅助设计与图形学学报, 1994, 6(1): 72~74.
- 4 陈勇. 二维不规则形优化排样技术研究:[硕士论文]. 杭州: 浙江大学, 2003. 1~57.
- 5 周建华, 赵建军, 吴颖. 不规则形状零件优化排样的关键技术. 现代机械, 1998, 2: 29~31.
- 6 赖剑锋. 新的嵌套排样算法. 锻压技术, 2003, 5: 27~29.
- 7 刘弘. 具有类比学习机制的优化排料系统. 计算机辅助设计与图形学学报, 1997, 9(5): 436~441.
- 8 董兴辉. 计算机辅助排料系统的研究. 现代电力, 1997, 14(1): 64~69.
- 9 Jokobs S. On genetic algorithms for the packing of polygons. European Journal of Operational Research, 1996, 88: 165~181.
- 10 刘德全. 矩形排样问题的遗传算法求解. 小型微型计算机系统, 1998, 19(12): 20~25.
- 11 贾志欣, 殷国富, 罗阳. 二维不规则零件排样问题的遗传算法求解. 计算机辅助设计与图形学学报, 2002, 12(5): 467~470.
- 12 Leung T W. Application of genetic search and simulated annealing to the two-dimensional non-guillotine cutting stock problem. Computer & Industrial Engineering, 2001, (40): 201~214.
- 13 Cheng S K, Rao K P. Large-Scale nesting of irregular patterns using compact neighborhood algorithm. Journal of Materials Processing Technology, 2000, (103): 135~140.
- 14 Julia A, Bennell Kathryn A, Dowsland. The irregular cutting-stock problem-a new procedure for deriving the no-fit polygon. Computer & Operations Research, 2001, (28): 271~287.

(责任编辑:黎贞崇)