

# 板材排样问题中不规则多边形优化组合策略研究

王德强

魏朋三

(沈阳工业学院机械工程系, 沈阳 110015) (中科院现代制造 CAD/CAM 技术开放实验室, 沈阳 110003)

**摘要** 板材排样问题是从一组给定的矩形(或非矩形)板材上切割出一批规则的和不规则形状的零件,且使板材的耗费最低。本文研究不规则多边形优化组合策略,提出一种相同零件受限递归组合算法。

**关键词** 排样, 矩形包络, 优化组合

## 1 引言

许多传统工业,如钢板切割、服装裁剪等,均涉及如何从一组给定的矩形(或非矩形)板材上切割出一批规则的和不规则的多边形,且使板材的耗费最低。目前,国内外对这类问题比较经典的处理方法是矩形包络法,也称二步法。即首先确定组合零件的最佳包络矩形,然后将这些最佳包络矩形以最优的方案排放在矩形(或非矩形)板材上。在二步法的第一步中,NFP(No-Fit-Polygon)算法<sup>[1]</sup>是处理任意两个不规则多边形优化组合的基本方法,其基本思想是:首先给定欲组多边形  $A, B$  以及它们相对的方向,然后沿  $A$  平移  $B$ ,找出  $A, B$  满足不相交条件的具有最佳包络矩形的  $B$  的位置。

由于 NFP 算法涉及大量多边形相交测试且多重组合涉及多边形的布尔运算,所以,如何选择两个欲组多边形以及它们相对的方向是提高板材排样软件执行效率的关键,同时也是不规则多边形优化组合的瓶颈所在。采用启发式回溯搜索策略势必极大地增加排样软件的时空开销。为提高排样软件的通用性和执行效率,本文提出一种不规则零件优化组合策略,只对相同零件采用多重组合而对不同零件采用空闲区填充。

## 2 空闲区填充

当提交的一批待切零件在尺寸上存在良好互补

性时,采用空闲区填充能有效地提高板材的利用率。空闲区是指零件内孔,或零件的最小区域多边形(外环)与其最佳包络矩形之间形成的若干区域多边形。空闲区填充即是较小的零件(或零件组)嵌于其内。该模块包含如下两个基本策略:

### 2.1 零件(或零件组)的选择

设  $A$  为空闲区,  $B$  为欲填充零件,  $s_1, s_2, l_1, l_2, w_1, w_2, r_1, r_2$  分别为  $A, B$  的最佳包络矩形的面积,长边,短边和它们在其最佳包络矩形内的利用率。

(1) 对所有未作为填充子体的零件按启发函数递减排序,启发函数为:

$$f = s_2 \times r_2 / \cos(\theta)$$

其中

$$\theta = (w_1 \times l_2 - w_2 \times l_1) / (w_1 \times w_2 + l_1 \times l_2)$$

(2) 在队列中依次选取一个  $f \leq s_1 \times r_1$  的零件待填。

### 2.2 零件(或零件组)方向的选择

该策略基于如下假定:多边形重心相对其最佳包络矩形中心的位置大体描述了多边形在其最佳包络矩形中的形状分布。该策略的核心思想就是对多边形  $B$  进行一系列图形变换使与空闲区  $A$  的形状分布大体相似。

(1) 将  $A, B$  的最佳包络矩形长边与零件坐标系的  $X$  轴平行。

(2) 对  $A, B$  重心相对其最佳包络矩形中心的位置进行编码, 第 1, 2, 3, 4 象限分别为 00, 01, 11, 10。

(3) 对  $A, B$  重心编码进行异或运算, 根据结果对  $B$  执行如下变换, 01: 以  $Y$  轴为对称线做对称变换; 10: 以  $X$  轴为对称线做对称变换。

(4) 对变换后的图形  $B'$  做适当旋转后以两个方向  $0$  或  $\pi$  试填。

### 3 相同零件的优化组合

若提交的一批待切零件中某些零件重复率较高, 且不同零件之间尺寸相近, 此时, 单纯采用空闲区填充和相同零件两两组合对于提高板材利用率效果甚微, 如果对所有相同零件从整体上加以优化组合, 就能有效提高板材利用率。

结合矩形包络法的特点及处理速度的要求, 本文对上述 NFP 算法增加两条限制, 即组合后的最佳包络矩形满足: (1)  $X$  值不增加; (2)  $Y$  值不增加, 分别称为  $X$  受限 NFP 和  $Y$  受限 NFP, 原 NFP 算法称为不受限 NFP。组合时, 先对相同零件分组。在组内, 分别递归调用上述 3 种 NFP 算法对相同零件进行多重优化组合。

#### 3.1 预处理

(1) 最大零件组零件个数上限为  $2^{2i}$ , 其中  $i = \lceil \log_2^m \rceil$ ,  $m = \min(w_{sh}/w_{re}, l_{sh}/l_{re})$ ,  $l_{sh}, w_{sh}, l_{re}, w_{re}$  分别表示板材、零件最佳包络矩形的长、短边。

(2) 分组算法

A1:  $n \leftarrow$  相同零件个数

A2:  $j \leftarrow 0$

A3: 若  $j > \lceil \log_2^n \rceil / 2$ , 则  $j \leftarrow j - 1$ , 转 A5

A4: 若  $j < i$ , 则  $j \leftarrow j + 1$ , 转 A3

A5:  $C[j] \leftarrow C[j] + 1; n \leftarrow n - 2^{2j}$

A6: 若  $n \neq 0$ , 转 A2; 否则, 结束。

注:  $C[0] = 0, 1, 2, 3$  表示不参与递归组合的零件个数,  $C[j]$  的值表示  $2^{2j}$  个零件作为一组的组数。

#### 3.2 组合算法

该算法内含三个结构相同的功能模块, 分别为  $X$  受限递归组合,  $Y$  受限递归组合和不受限递归组合。系统选择利用率最高的组合方案, 将该方案结果输出至矩形排样过程  $C[j]$  次。现以模块 1 为例加以说明。

B1: 读零件数据至表 1, 表 1 旋转 ( $0$  或  $\pi$ ) 送至表 2

B2:  $k \leftarrow 1$

B3: 调用  $X$  受限 NFP 算法修改表 2

B4: 表 1  $\cup$  表 2, 将结果复制到表 1、表 2

B5:  $k \leftarrow k + 1$  如果  $k < j$ , 转 B3

B6:  $k \leftarrow 1$

B7: 表 2 旋转 ( $0$  或  $\pi$ ) 送至表 2

B8: 调用不受限 NFP 算法修改表 2

B9: 表 1  $\cup$  表 2, 将结果复制到表 1、表 2

B10:  $k \leftarrow k + 1$ , 如果  $k < j$ , 转 B7

B11: 输出数据表 1, 结束。

### 4 结论

基于上述策略开发的计算机辅助排样系统已成功应用于火焰、等离子数控切割机床上。实践证明: 该策略除能对大、小零件优化组合外, 还能对大量相同的三角形、L 型、T 型和 U 型等零件实现多重优化组合。

#### 参考文献

- Adamowicz M. Nesting two-dimensional shapes in rectangular modules. Computer Aid Design, 1976, 8(1): 27~33.
- 饶运清, 刘延林, 段正澄. 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, (1): 72~74.



王德强, 讲师, 沈阳工业学院机械工程系。1992 年在吉林大学计算机系获计算机绘画专业硕士学位。现在东北大学计算机系攻读博士学位, 主要研究方向为三维动画、计算机辅助设计。

(下转 519 页)



杨忠根,哈尔滨工程大学电子工程系副教授,1981年获东南大学工学硕士学位。主要研究领域包括数字信号处理、图象处理、模式识别、计算机视觉等。

## Ellipse Extraction Using Its Geometric Properties

Yang Zhonggen, Luan Xiaoming

(Dept. of Electronic Eng., Haerbin Eng., Univ., Haerbin 150001)

**Abstract** Based on the framework of the curve extraction algorithm developed in Ref. [1], and using the convergence-mapping from the tripe-point subset to the elliptical parameter set provided by the geometric properties on the pole and polar line of an ellipse, a new method to robustly and directly extract the ellipses of targets is presented. Compared to the old indirect method developed in Ref. [1], the new method has the attractive advantage of making sure the results of every mapping to be the valid elliptical parameters. The extensive experiments for the images exactly simulated by PC computer and for the real images have demonstrated that the method is very robust, fast and exact.

**Keywords** Computer vision, Ellipse extraction, Pole and Polar line geometric properties, Random hough transform, Robust estimation

(上接 516 页)

## Study on Clustering Irregular Shapes in Rectangular Modules

Wang Deqiang

(Department of Mechanical Engineering, Shenyang Institute of Technology, Shenyang 110015)

Wei Pengsan

(Open Lab. of CAD/CAM technology for advanced manufacturing. Academia Sinica, Shenyang 110003)

**Abstract** The aim of optimal layout on rectangular or irregular sheets is to cut the shapes out of the sheets in such a way as to minimize the amount of waste produced. In this paper, a method to cluster irregular shapes in rectangular modules is proposed.

**Keywords** Nesting, Rectangular enclosure, Clustering