

满足工艺品剪切要求的二维不规则排料算法

郑文清, 陈建华

(福州大学 数学与计算机科学学院, 福建 福州 350002)

摘 要:主要研究在矩形铁皮原材料上排放若干种二维不规则工艺品零件。对零件轮廓矢量图进行分类, 采用形心重合定位填充算法对不规则图形进行组合, 然后使用对排、单排、改进型的最低水平线排料策略, 在满足“一刀切”的工艺品剪切要求和同种规格零件尽量放在一起的前提下, 尽量提高原材料的利用率。实验结果表明排料算法的原材料利用率较高, 同时满足剪切工艺要求。

关键词:不规则零件; 包络矩形; 二维排料

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2008)11-0026-03

Two Dimensional Irregular Nesting Algorithm Meeting Craft Cutting Requirement

ZHENG Wen-qing, CHEN Jian-hua

(College of Mathematics and Computer Science, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Researches the problem that packing two dimensional irregular parts on the rectangular original material. Firstly, classify the contour maps of the parts. Use a heart-shaped coincidence position filling algorithm for the combination of irregular parts, then use the reverse nesting, single nesting and the improved minimum horizon nesting strategy. Under the condition that the “one-cut” requirements and packing the same style parts together, increase the usage of the iron materials as much as possible. The results brought by the nesting algorithm show that the utilization of the raw materials is high, at the same time meet the shearing requirements.

Key words: irregular parts; enclosure rectangle; two dimensional nesting problem

0 引言

优化排料问题是一类有关最优化组合排列的问题。它是指在给定数量和规格的原材料板上尽可能多地排放待切零件, 同时满足一定的约束条件, 使原材料的利用率最高。其在组合排列优化领域中, 是属于计算复杂性最高的一类问题——NP 完全问题。

文中主要研究二维不规则铁制工艺品零件的排料问题, 首先对零件轮廓矢量图进行分类, 主要分成两大类:

一类是形状比较规则(“健康”)的零件矢量图, 采用对排和单排;

另一类是比较不规则(“病态”)零件的排料问题,

采用形心重合定位填充算法将其组合在一个包络矩形中, 然后对包络矩形进行排料, 从而转化为矩形件排料问题。最终得到满足铁制工艺品“一刀切”切割要求和同种规格零件尽量放在一起的排料方案图。

1 问题描述

二维不规则零件的排料问题就是在给定的平面区域内找出被排零件的最优布局, 即将给定有具体数量要求的二维不规则零件 $P_1, P_2, \dots, P_n$ 排放在给定的材料 P 中, 使得给定材料的利用率最高, 并要满足下列约束条件:

- 1) P_i, P_j 互不重叠, $i, j = 1, 2, \dots, n$;
- 2) P_i 不能超出材料边界, 必须放在 P 内, $i = 1, 2, \dots, n$;

3) 满足铁制工艺品剪切要求: “一刀切”(即切割刀口只能从原材料板的一边移动到另外一边, 中间不能拐弯或者停顿)和同种规格零件尽量放在一起(这样可以提高剪切工人的工作效率, 剪切过程中不用频繁切换不同形状的零件)。

收稿日期: 2008-05-27

基金项目: 福建省科技重大专项课题(2006SZ0001-1); 国家星火计划项目(2007EA720021); 福州大学科技发展基金(2005-XQ-14)

作者简介: 郑文清(1983-), 男, 福建泉州人, 硕士研究生, 主要研究计算机辅助设计; 陈建华, 副教授, 研究方向为图形图像处理及多媒体技术。

2 零件分类方法

首先用数码相机对零件进行拍摄,图片存入电脑,去除噪音灰度化处理后采用边界跟踪算法提取零件边界轮廓矢量点,接着判断出零件轮廓图各个矢量点的凹凸性,采用如下方法判断(以图 1 为例判断 i 点的凹凸性):

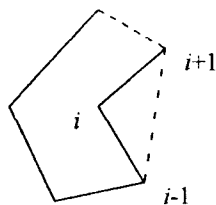


图 1 闭合多边形

1)按逆时针方向对顶点进行编号;

2)将待判别的点的前后相邻的点进行连接构成一个三角形 S , 则 S 的面积 ΔS 表示为:

$$\Delta S = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_{i-1} & y_{i-1} & 1 \\ x_i & y_i & 1 \\ x_{i+1} & y_{i+1} & 1 \end{vmatrix}$$

3) 如果 $\Delta S > 0$, 则 i 点为凸顶点; 如果 $\Delta S < 0$, 则 i 点为凹顶点; 如果 $\Delta S = 0$, 则 i 点与 $i-1$ 和 $i+1$ 三点共线。

判断出所有零件轮廓矢量点的凹凸性后, 对于凹多边形采用文献[1]的平面点凸包求取方法得到凸多边形, 然后求其最小包络矩形。

按照文献[2]推算出的闭合多边形面积求取公式计算出每个零件轮廓矢量图的面积:

$$S = \frac{1}{2} \left| \sum_{k=1}^N \begin{vmatrix} X_k & Y_k \\ X_{k+1} & Y_{k+1} \end{vmatrix} \right|$$

对 N 边形来讲第 1 个顶点与第 $n+1$ 个顶点重合, 采取通用的算法计算多边形的面积, 轮廓多边形面积 S 可以根据多边形的顶点坐标通过上面的公式求得, 其中 N 为多边形顶点个数。

在求得每个零件轮廓矢量图的最小包络矩形后, 计算每个不规则零件轮廓的矩形相似率 = 零件实际的面积/零件的最小包络矩形面积。

借鉴人工排料的经验, 对于比较规则(“健康”)的零件一般采用以下两种方法进行排料:

①对排: 两个相同形状多边形零件, 其中一个逆时针旋转 180 度后对排;

②单排: 若干个多边形单排紧靠排列在一起。

临界多边形算法: 给定一个任意的多边形 A 固定不动, 将另一个多边形 B 不改变方向(即不旋转)邻接 A 绕行一周, 使得它们相互接触, 但互不重叠, 这个过程称为 B 相对 A 移动, 如图 2 所示。结合文献[3]的改

进临界多边形算法和文献[4]的多边形移动算法对零件轮廓多边形移动进行碰撞检测。

求出多边形 A 的最小包络矩形后, 建立相对坐标系, 如图 3 所示, 以 A 的最小包络矩形左下角顶点 O 为原点, 求出在相对坐标系中 A 关于原点对称的新多边形 A' , 并求出 A' 的最小包络矩形, A' 绕 A 移动一圈, 采用临界多边形进行碰撞检测, 计算出每移动一个步长, A 和 A' 组合而成的零件的最小包络矩形, 如果 A 和 A' 组合而成的零件的包络矩形相似率大于等于给定的原材料利用率, 则该零件可采用对排方法, 同时记录这个时候 A 和 A' 的相对位置。

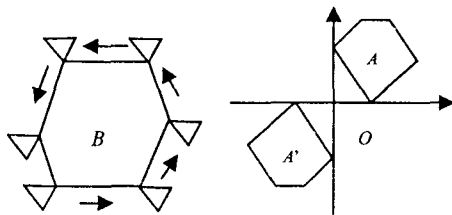


图 2 临界多边形

图 3 零件相对坐标图

求出零件轮廓多边形的最小包络矩形, 调整最小包络矩形, 使其边平行于原材料板相应边, 这样零件的排放姿势就确定下来, 然后把若干个该零件紧靠排成一排, 算出一排同种零件的总面积除以这排零件占用的整块矩形面积, 然后让该零件再旋转 90 度, 紧靠排成一列, 算出面积比值, 如果两种排放方式中有一次面积比值大于等于给定的原材料利用率, 则该零件适合单排。

3 零件组合方法

按“病态”多边形的包络矩形面积从大到小进行排序, 求取所有“病态”多边形的最小包络矩形, 求出最小包络矩形边与零件轮廓多边形围成的几个空白多边形联通分支, 算出它们的面积, 然后从其他“病态”多边形中找出面积小于等于空白多边形区域面积的零件轮廓多边形, 组成待填充的零件多边形集, 按照面积从大到小进行排序, 计算出所有待填充零件多边形的形心 (X_0, Y_0) 的公式如下:

$$\text{Area} = \frac{1}{2} \left| \sum_{k=1}^N \begin{vmatrix} X_k & Y_k \\ X_{k+1} & Y_{k+1} \end{vmatrix} \right|$$

$$\text{Sum}_x = \sum_{i=1}^N ((x_i + x_{i+1}) \times (x_i \times y_{i+1} - x_{i+1} y_i))$$

$$\text{Sum}_y = \sum_{i=1}^N ((y_i + y_{i+1}) \times (x_i \times y_{i+1} - x_{i+1} y_i))$$

$$X_0 = \text{Sum}_x / 6\text{Area}$$

$$Y_0 = \text{Sum}_y / 6\text{Area}$$

N 为多边形的顶点个数。

让待填充多边形的形心跟空白区域多边形的形心重合,在填充过程中按一定角度(一到两度)旋转待填充多边形,直到找到待填充多边形不跟零件轮廓边缘产生碰撞,同时不超出最小包络矩形的边缘,通过对所有的空白联通区域填充面积相近的多边形后,尽量使组合零件区域面积在其最小包络矩形中所占比例尽可能大。

4 包络矩形排料策略

原材料板的高度为 H , 宽度为 W 。采用满足“一刀切”剪切要求和同种零件尽量放在一起的最低水平线矩形排料算法对分类组合处理过的零件进行排料, 优先考虑待排数量比较多的零件进行排料, 参考文献[5]的排放策略, 从板材的最左下角开始排放, 同时考虑把高度大于宽度的零件旋转 90 度, 这样有助于降低已排零件形成的最大高度, 如图 4 所示。

算法流程如下:

步骤一: 计算出经过分类组合处理得到的矩形零件 R_i (包括包络矩形零件和矩形相似率大于等于给定的原材料利用率的单一零件) 的高 h_i 、宽 w_i 、待排数量 n_i , 比较矩形零件的高 h_i 跟宽 w_i , 如果 $h_i > w_i$, 则互换 h_i 与 w_i 的值, 然后依照待排数量 n_i 、宽度 w_i 、高 h_i 使用字典排序法对矩形零件进行排序, 得到有序零件集; 设置初始最低水平线段为原材料板最下面的边和设置初始最大高度 $H_{\max}$ 为 0。

步骤二: 从有序零件集提取出待排数量 n_i 最大的零件 R_i 按照 BL 原则 (从原材料板的最左最下位置开始排放) 排成一行, 算出原材料板 W 跟 R_i 零件的宽 w_i 的余数 m ($m = W \bmod w_i$), 更新最低水平线, 然后从有序零件中找出宽度小于等于 m 的零件组成一个待填充零件集合, 对填充矩形按宽度按从大到小进行排序, 填充零件组合叠加后的零件总高度小于等于 R_i 零件的高度 h_i , 更新最大高度为 R_i 零件的高度 h_i 。

步骤三: 重复步骤二, 直至所有零件排放完毕, 最后所得的最大高度即为所需板材高度。

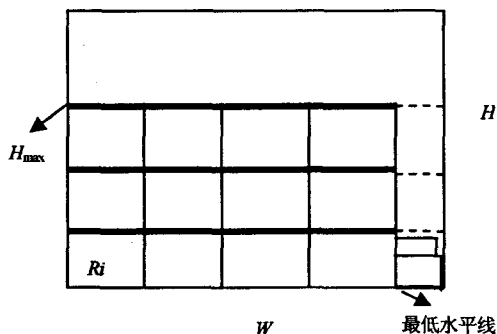


图 4 包络矩形排料图

5 算法步骤

1) 采用边界跟踪算法提取用数码相机拍摄的图像的边缘轮廓矢量点, 按逆时针方向依次连成闭合多边形;

2) 首先对不规则零件轮廓矢量点的凹凸性进行判断;

3) 计算每个不规则零件面积及最小包络矩形, 同时计算出零件的矩形相似率;

4) 如果零件的矩形相似率大于等于给定的原材料利用率, 则对该零件采用矩形排料算法进行处理, 直接跳到第六步; 如果小于给定的原材料利用率, 接下去执行第五步;

5) 依据分类原则中对头排和单排的判定方法来决定零件是否使用对排或者单排, 按照上述组合方法对“病态”多边形进行组合;

6) 采用改进型最低水平线排料算法对矩形相似率大于等于给定的原材料利用率的零件和第五步生成的组合包络矩形进行排料, 同种规格零件尽量放一起。

6 程序实现

开发平台是 Windows XP 操作系统, 排料系统开发语言 JAVA, 开发平台 ECLIPSE。排料结果如图 5 所示。

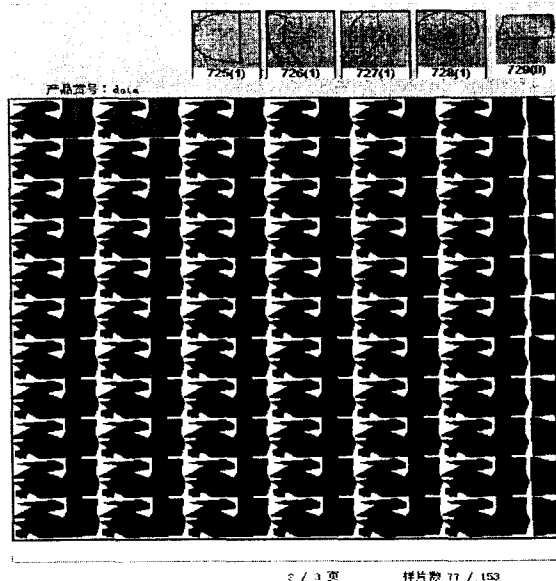


图 5 排料结果图

7 结束语

文中的主要思想是先对零件矢量轮廓图分成两类: 一类是“健康”多边形, 对其采用对排和单排; 另一类是“病态”多边形, 将“病态”多边形跟其最小包络矩

(下转第 31 页)

语料库,选取了计算机、交通、教育、经济、体育、艺术、政治等七类共 2162 篇文本,并在各类别中按 1:1 的近似比例随机抽取学习样本集和测试样本集。

对文档进行分词后,共得到 79360 个词组,分别采用 χ^2 统计量的方法及其改进算法 CC 法进行特征降维,并在选择特征时,就是否进行维数调节进行了对比。除覆盖算法外,同时使用了文献[7]上所提供的 libsvm 对 SVM 方法进行了对比测试。实验中,尝试选取不同维数的特征向量集,当特征向量集取到 1700 维时,达到了较好的效果。继续提高维数时,识别效果基本保持稳定。

具体的试验结果如表 1、表 2 所示。

表 1 无维数调节的结果

类别	学习样本数	测试样本数	χ^2 统计量精确率 (覆盖算法)	CC 法精确率 (覆盖算法)	χ^2 统计量精确率(SVM)	CC 法精确率 (SVM)
计算机	99	101	91.00%	95.74%	90.10%	90.10%
交通	99	115	90.68%	92.98%	80.87%	86.09%
教育	109	111	89.83%	92.11%	97.30%	95.50%
经济	162	163	90.65%	90.97%	82.82%	88.96%
体育	219	231	97.27%	97.76%	96.10%	95.67%
艺术	124	125	90.70%	92.97%	89.60%	88.00%
政治	270	235	87.55%	90.51%	97.87%	98.72%
总正确率			91.21%	93.24%	91.67%	92.88%

表 2 有维数调节的结果

类别	学习样本数	测试样本数	χ^2 统计量精确率 (覆盖算法)	CC 法精确率 (覆盖算法)	χ^2 统计量精确率(SVM)	CC 法精确率 (SVM)
计算机	99	101	91.75%	95.79%	91.09%	92.08%
交通	99	115	91.74%	93.75%	86.96%	85.22%
教育	109	111	90.60%	92.86%	97.30%	94.59%
经济	162	163	91.24%	91.03%	82.82%	87.12%
体育	219	231	97.81%	98.68%	96.54%	96.54%
艺术	124	125	94.31%	93.70%	90.40%	89.60%
政治	270	235	88.19%	91.67%	98.30%	98.72%
总正确率			91.95%	93.80%	92.69%	92.97%

从实验结果可以看出,就分类器来说,覆盖算法

和 SVM 的效果基本接近,在预处理阶段采用不同的特征降维法时,识别效果略有不同。对两种分类器,采用相关系数法进行特征提取时的效果均比使用 χ^2 统计量方法的效果要好。由于在特征提取的基础上进行维数调节,可以使覆盖算法均衡学习到各类别的信息,从而可以进一步提高文本分类的准确率。在同等条件下,使用覆盖算法、相关系数法和维数调节时,正确率达到最高,得到一个效果较好的文本分类器。

参考文献:

[1] Yang Y, Pedersen J O. A comparative study on feature selection in text categorization[C]// In: Proceedings of the 14th International Conference on Machine Learning (ICML'97). San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1997: 412 - 420.

[2] Ng H T, Goh W B, Low K L. Feature selection, perceptron learning, and a usability case study for text categorization[C]// In: Proceedings of the 20th ACM International Conference on Research and Development in Information Retrieval (SIGIR'97). Philadelphia: ACM Press, 1997: 67 - 73.

[3] Salton G, Wong A. On the specification of term value in automatic indexing[J]. Journal of Documentation, 1973, 29(4): 351 - 372.

[4] 张 铃,张 钹,殷海风. 多层前向网络的交叉覆盖算法[J]. 软件学报, 1999, 10(7): 737 - 742.

[5] 吴 涛,张燕平,张 铃. 前向神经网络交叉覆盖算法的一种改进[J]. 微机发展(现更名为: 计算机技术与发展), 2003, 13(3): 50 - 52.

[6] 程泽凯,林士敏. 文本分类器准确性评估方法[J]. 情报学报, 2004, 23(5): 631 - 636.

[7] Chang Chih - Chung, Lin Chih - Jen. LIBSVM: a library for support vector machines[EB/OL]. 2001. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.

(上接第 28 页)

形围成的空白区域用其他面积相当的零件多边形进行填充,将若干个“病态”多边形组合成一个接近包络矩形,然后采用改进型的最低水平线矩形排料算法对组合零件进行排列。实验结果表明此种排料策略得到的排料结果满足铁制工艺品的剪切要求,因为选择的两种排料策略:在对排和单排中把同一种零件排成一排;而包络矩形排料中,采用同种规格零件尽量放在一起,这样就保证了铁制工艺品实际的剪切要求。

参考文献:

[1] 金文华,何 涛,刘晓平,等. 基于有序简单多边形的平面

点集凸包快速求取算法[J]. 计算机学报, 1998, 21(6): 533 - 539.

[2] 罗志强,钟尔杰. 任意多边形面积公式的推导及其应用[J]. 大学数学, 2005, 21(1): 124 - 125.

[3] 刘嘉敏,佟德刚,黄有群. 临界多边形生成算法的改进[J]. 沈阳工业大学学报, 2005, 27(5): 568 - 570.

[4] 刘嘉敏,张胜男,黄有群. 二维不规则形状自动排料算法的研究与实现[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 12(7): 489 - 491.

[5] Vaid S, Dowsland W D. An algorithm for polygon placement using a bottom - left strategy[J]. European Journal of Operational Research, 2002, 141(2): 371 - 381.