

一种改进的启发式自动排版算法及其应用*

张雪芬, 王 栋, 罗笑南

(中山大学计算机应用研究所, 广东 广州 510275)

摘 要: 提出了一种基于启发式搜索策略的自动排版算法, 其基本思想是根据实际情况确定排序次数以提高材料利用率; 通过待移动区域确定可能发生碰撞的实体以避免盲目检测; 对排料物体先大步长移动, 然后微调以提高排版精度。该算法已在服装 CAD 排版系统中得以实现, 实验结果表明在布料利用率和速度方面都比较理想。

关键词: 自动排版; 启发式搜索; 碰撞检测; 服装 CAD

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2003) S1-0256-03

实体的自动排版问题是板材加工、航天航空、服装加工等制造业中经常出现的一个问题, 它直接关系到产品成本和企业的经济效益。尤其是不规则形状实体的自动排版问题, 一直受到广泛的重视和研究, 采用的研究方法也有很多种, 涉及了组合优化、人工智能、计算几何学等各种理论^[1,2]。目前很多自动排版算法在实际中的应用都没有达到令人满意的效果。在实际生产过程中, 一般采用自动排版与手工排版相结合的方式。这就要求自动排版算法能够更好地辅助手工排版。因此对不规则实体的自动排版算法进一步研究非常有必要。

在这个问题上, 已经尝试过的方法主要有: 进化算法^[3]、模拟退火算法、最优化理论^[4]、基于学习的方法^[5]、基于约束的方法^[6]等, 但这些算法都不同程度上存在效率不高、算法复杂以及实用性不强等问题。目前对多边形直接排料的求解方法, 比较认同的是采用启发式算法^[4]。本文以自动排版算法在服装 CAD 中的应用为背景, 提出了一种改进的启发式自动排版算法。系统原有的自动排版算法同样是采用启发式排版的算法, 但是只考虑多边形的方正度, 没有考虑到多边形的大小或长度, 很多情况下, 不能很好的与手工排版结合。

1 启发式自动排版算法

1.1 布局模型

经过对衣片的预处理以后, 问题就转化为求不规则多边形的自动排版问题。对于本系统中的衣片, 只需要将衣片所有外部轮廓点连成多边形即可将衣片转化为多边形。启发式搜索的目的就是得到多边形序列的排版顺序, 使其更适合进行修改, 以

达到更高的利用率。

不失一般性, 设矩形排版区域已知宽为 W , 长 L , 未知, 一组待排多边形序列用 $P_i (l_i, w_i, Index_i, V_i)$, $i = 1, 2, \dots, m$ 表示, 其中 l_i 和 w_i 分别是该多边形外接矩形的长和宽。 $Index_i$ 是该多边形在多边形序列中的索引号, V_i 是该多边形顶点数组, m 是待排多边形总数。

该问题的约束条件可表示为:

- (1) 多边形互不相交;
- (2) 多边形与排版区域边界不相交;
- (3) 多边形顶点总数 ≥ 3 。

则不规则实体的自动排版问题可以简化地描述为: 将 m 个多边形 $P_i (l_i, w_i, Index_i, V_i)$, $i = 1, 2, \dots, m$ 不相交地装入矩形排版区域, 并且使占用的排版区域的长度 L 最短^[5]。

可知多边形的长度 l_i 和宽度 w_i , 那么该多边形的外接矩形的面积 $Area_i = l_i \times w_i$ 。设多边形本身的面积为 S_i 。

定义 1 所谓一个多边形的方正度, 是指该多边形本身面积与其外接矩形面积的比值, 即

$$F_i = S_i / Area_i$$

比值 F_i 越大, 说明多边形越方正。

定义 2 所谓材料的利用率, 是指所有多边形总面积之和与使用的排版区域面积之比, 即

$$E = \sum_{i=1}^m \frac{S_i}{L \times W}$$

其中 L 是多边形装入排版区域后, 所占用的排版区域的长度^[5]。

1.2 排序规则

根据经验, 自动排料时, 衣片排料的先后顺序

* 收稿日期: 2002-12-27

作者简介: 张雪芬 (1978 年生), 女, 硕士; E-mail: zhangxuefen@sina.com

将直接影响排料的最终利用率。在衣片的排料顺序上更多地考虑手工修正的需要,可以使交互式排料的时间大大缩短。本算法采用了基于分组的排序规则,综合考虑了衣片的面积和方正度两个方面。定序规则按照启发信息确定排料时的先后顺序,具体分为两个步骤:

第一步,根据求出序列中当前多边形面积与最大面积相差的比例将多边形进行分组:大片组、中片组和小片组。

这样分组的目的是,为了避免当多边形的面积差异很小、很大或者大小均匀的情况下,排料的效果,尤其是面料利用率有较大差异。因而根据多边形之间的面积的差异建立相关性,比直接用面积阈值来确定分组更灵活。

第二步,在每个分组内将多边形按照方正度进行排序,得到最终的待排序列。

采用方正度与长度结合排序的搜索策略在布料利用率和交互式排版之间达到了平衡,使自动排版更好可以辅助交互式排版。

1.3 碰撞检测

碰撞检测算法是自动排版算法中的重要环节,得到了广泛的研究。二维实体碰撞检测算法的关键是检测多边形在某一时间点上是否与其它多边形重叠,其中检测重叠可以通过检测两个多边形顶点、边之间的几何关系来实现。排版系统所要考虑的是如何使多边形排列紧密但又互不重叠,即不发生碰撞。在本算法中,为了提高效率,我们对于可能发生碰撞的对象,仅考虑多边形沿平移方向上可能发生的碰撞的检测。

碰撞检测的具体实现步骤如下:

第一步,划分运动方向。为了便于检测,可把实体的运动方向分成八个基本方向。同时考虑到实际操作,水平、垂直方向允许有一定的偏差范围。

第二步,碰撞区域的选择。我们选择当前多边形的外接矩形在排版区上待移动的轨迹面作为碰撞检测区域,对该区域的多边形进行碰撞检测(图1)。

第三步,检测碰撞区域内的多边形。排版实体是多边形,为了有效处理该问题,把碰撞区域转化为一个多边形,判断排版区所有实体是否与该多边形相交。

第四步,计算当前运动多边形与待碰多边形之间在运动方向上的最短距离并进行平移。计算出多边形在该运动方向上与区域内所有多边形之间的最短距离,并进行平移。

第五步,移动多边形使多边形完全相切。经过

步骤4后所得的多边形不一定完全相切,还需要经过微调使之相切。经过以上步骤即可实现运动多边形的碰撞检测。

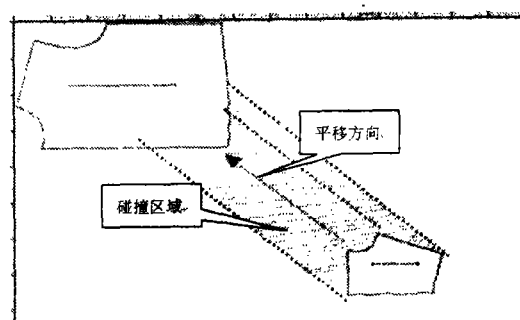


图1 碰撞区域的选择

Fig.1 Collision detection area

1.4 移动算法

移动算法按照从上到下、从左到右的原则,采用逐步试探的方式,即每平移一次,都要进行碰撞检测。移动算法描述:

首先,进行初始化,然后利用排序规则确定待排多边形的排料顺序,得到待排多边形序列。

下面对多边形进行平移。首先从待排多边形序列中取出一个多边形,将其平移到排料区域的左上角。下面执行循环结构,从待排多边形序列取出下一个多边形,进行初始化。初始化就是要将多边形位于排料区域的左上角处,这样确定多边形初始位置的目的,是为了让小块衣片可以插空排料。调用碰撞检测算法,判断是否与排料区域内的多边形以及排料区域发生碰撞,如果不发生碰撞,该多边形排料结束。如果该多边形与排料区域内的多边形发生碰撞,则取消平移。如果该多边形与排料区域边界发生碰撞,则使其向右平移,执行水平方向的碰撞检测循环。否则,停止平移。取出下一个多边形进行排料,如此循环直到待排序列中所有多边形都排列到排料区域内。

最后计算布料利用率 E 。

2 应用

我们实现了本文提出的自动排版算法,并应用于服装 CAD 系统。

实验 设定排料区域的长度为 1000 cm,宽度为 144 cm,给定待排的衣片 104 片。图 2 和图 3 分别是算法改进前后得到的排版效果图。

从实验结果可以看出,改进后的算法在以方正度为前提下,将较长的衣片优先排版,不仅提高了布料利用率,更重要的是,得到的最终排版效果图更易于进行手工修正,与交互式排版相结合,可以

缩短排版时间, 提高效率。

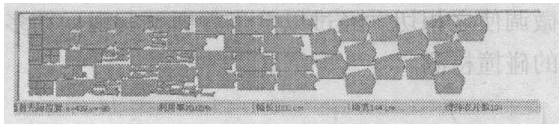


图 2 原算法的自动排料效果图

Fig.2 The packing of the original algorithm

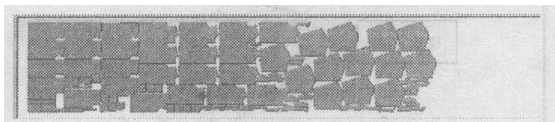


图 3 改进后算法的自动排料效果图

Fig.3 The packing of the new algorithm

参考文献:

- [1] Hopper E, Turton B C H. An empirical investigation of meta-heuristics and heuristic algorithms or 2D packing problem[J]. European Journal of Operational Research (EJOR), 2000, 128 (1): 34 - 57.
- [2] Burke K E, Kendall G. Evaluation of two dimensional bin packing problem using the no fit polygon// Proceedings of the 26th International Conference on Computers and Industrial Engineering[C]. Melbourne, Australia, 1999: 286 - 291.
- [3] 侯广坤, 李明. 自动布局问题的进化计算算法[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2001, 40(2): 6 - 9.
- [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): 488 - 491.
- [5] 刘弘, 曾广周, 林宗楷. 具有类比学习机制的优化排料系统[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1997, 9(5): 21 - 27.
- [6] 王金敏, 马丰宁, 陈东祥, 等. 一种基于约束的布局求解算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1998, 10(2): 156 - 160.

An Improved Packing Algorithm Based on Heuristic Search and Its Applications

ZHANG Xue-fen, WANG Dong, LUO Xiao-nan

(Computer Application Institute, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Packing algorithm is a very valuable problem to study whether in theory or in practical application. This paper presents a packing algorithm based on heuristic search. The basic ideas are thus: the number of arrangement is set according to actuality situation to utilize the material efficiently; the probable collision objects are obtained according to the region where the mobile object will go by to avoid blind detection; motion is done first in large step then in small step to improve layout efficiency. The algorithm has been realized in garment CAD system. The result shows that it has high utilization to material and ideal layout speed.

Key words: auto-layout; heuristic search; collision detection; garment CAD