

基于3块方式的圆形片剪冲排样算法

陈菲, 刘勇, 刘睿, 严玄, 崔耀东

(广西师范大学计算机科学与信息工程学院, 桂林 541004)

摘要:采用2条相互垂直的分割线将板材分割成3块子板材, 每块子板材包括一组方向和长度都相同的条带。用动态规划算法确定子板材中条带的最优布局, 用枚举法确定2条分割线的位置, 使整张板材价值达到最大。实验结果表明, 该算法能够提高材料利用率, 计算时间满足实际应用的需要。

关键词:圆形片切割; 剪冲下料; 两维切割; 3块方式

Cutting and Punching Layout Algorithm for Circular Blanks Based on Three Blocks Pattern

CHEN Fei, LIU Yong, LIU Rui, YAN Xuan, CUI Yao-dong

(College of Computer Science and Information Engineering, Guangxi Normal University, Guilin 541004)

【Abstract】This paper presents an algorithm that cuts the sheet into three sub sheets by two dividing lines which are perpendicular to each other. Every sub sheet contains a group of strips which have the same orientation and length. Use dynamic programming algorithm to determine the optimal layout of the strips in the sub sheets, and use enumeration method to determine the position of two dividing lines so as to maximize the value of the whole sheet. The computational results indicate that the algorithm can improve the material usage of the patterns, and the computation time of the algorithm is reasonable for practical use.

【Key words】circular blanks cutting; cutting and punching stock; two-dimensional cutting; three blocks pattern

1 概述

圆形片下料问题出现在许多制造行业。例如, 电机(电动机和发电机)制造业用圆形硅钢片叠制电机铁芯, 全国有数千家电机制造企业, 年消耗硅钢板材数百万吨; 不锈钢制品业用不锈钢圆片制造锅壶盘桶等产品, 每年消耗不锈钢数百万吨; 在汽车、航空航天飞行器等制造业中, 一些薄板状圆形零件也涉及到圆形片的下料问题。对圆形片下料CAD技术开展研究, 并应用于企业生产实践, 能有效提高下料利用率, 降低产品成本, 提高企业在同行业中的竞争力^[1]。

国内外众多学者在二维下料问题的矩形件排样和不规则形排样领域做了大量研究, 近年来, 相对排样被提议用来解决排样问题, 如文献[2]应用拓扑学表示-传递闭包图来解决排样问题, 但针对圆形片条带剪冲排样问题的研究较少。文献[3]采用动态规划算法生成T型排样方式。在实际生产中, 规则形状毛坯需求量最大的可能是矩形毛坯, 其次是圆形毛坯。所以对圆形片下料问题开展研究, 在理论和实践上都具有重要的意义。

本文采用动态规划原理, 提出基于3块结构的圆形片优化排样算法, 确定整张板材上所含圆形片的最大价值。

2 算法原理及实现

2.1 算法原理

研究无约束3块结构圆片排样问题(Unconstrained Three-block Circle Cutting problem, UTBCC)。运用剪冲下料工艺, 首先用剪床将板材切割成水平或竖直条带, 每根条带中含相同直径的圆片; 再将条带送至冲床冲出圆片。通常剪冲下料要求留有一定的工艺余量, 设板材尺寸为

$L \times W (L > W)$, 需要剪冲出 m 种圆片, 使得板材上所含圆片价值达到最大。

与 UTBCC 紧密相关的两维圆片剪冲下料(Two-Dimensional Cutting Stock Problem, TDCS)问题如下: 剪冲库存板材满足 m 种圆片的需求, 第 i 种圆片的需求量为 d_i , $i=1, 2, \dots, m$, 要求确定排样方案, 使满足圆片需求所消耗的板材总面积最小。经常采用线性规划(LP)求解 TDCS。LP法通过反复迭代求解。在每一次迭代时, 首先根据改善目标值的需要, 计算出各种圆片的当前价值 c_i , 然后调用 UTBCC 排样算法, 生成一个可能使目标值改善的排样方式。通常在 LP 法找到最优解之前, 需要求解大量的 UTBCC。因此, LP 法的有效性, 主要取决于所采用的 UTBCC 算法的有效性^[4]。

如图1所示, 对于板材 $L \times W$, 用2条互相垂直且成T型的剪切线, 将板材分为3块, 每块含方向和长度都相同的条带。第1条剪切线竖直时为X向方式, 否则为Y向方式。本文以X向方式为例描述算法, 同理可得生成Y向方式的算法, 选取最优X和Y向方式中价值较大的一个为最终解。分别用 A, B, C 表示3块子板材, V_x 和 V_y 分别表示最优X和Y向方式的价值。对于子板材 $x \times y$, 设 $F(x, y)$ 为其最大价值,

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60763011); 广西科学基金资助项目(桂科自0728100); 贵州省高层次人才科研条件特助基金资助项目

作者简介:陈菲(1984-), 女, 硕士研究生, 主研方向: CAD; 刘勇、刘睿、严玄, 硕士研究生; 崔耀东, 教授、博士

收稿日期:2009-01-18 **E-mail:** connie084@163.com

$FX(x, y)$ 为其中含水平条带时的最大价值, $FY(x, y)$ 为其中含
 竖直条带时的最大价值。对于 X 向方式有如下结果:

$$\begin{aligned} VA &= F(X, W) = \max\{FX(X, W), FY(X, W)\} \\ VB &= F(L-X, Y) = \max\{FX(L-X, Y), FY(L-X, Y)\} \\ VC &= F(L-X, W-Y) = \max\{FX(L-X, W-Y), FY(L-X, W-Y)\} \\ V_x &= \max(VA+VB+VC) \end{aligned}$$

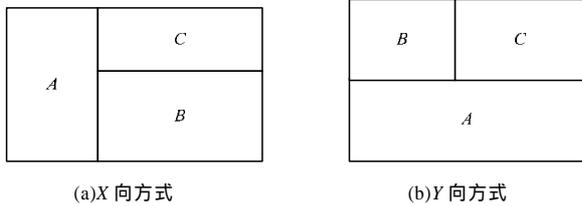


图1 X和Y向方式

2.2 条带宽度及价值的确定

设第 i 种圆片直径为 d_i , 工艺余量为 w_i , 条带中所允许
 的最大排数为 g_i , 圆片到边界的最小距离为 $w_i/2$, 相邻圆片
 边界间的最小距离为 w_i , 令 $D_i = d_i + w_i, i = 1, 2, \dots, m$ 。如图 2
 所示, 条带宽度由圆片直径和排数确定, 第 i 种圆片的条带
 宽度有 g_i 种, 可如下计算:

$$h_{ik} = D_i + (k-1)D_i\sqrt{3}/2 \quad k=1, 2, \dots, g_i \quad (1)$$

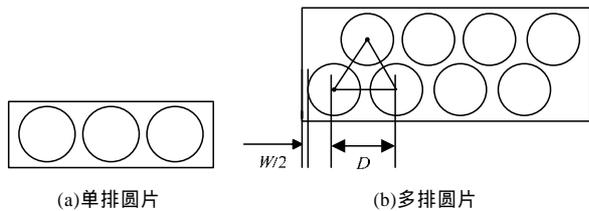


图2 条带中的圆片排列方式

设条带长度为 $x, x = 0, 1, \dots, L$, 圆片价值为 v_i , 条带中所
 含的圆片个数为 n_{ik} , 条带中奇数排所含圆片数为 o_i , 偶数排
 所含圆片数为 e_i , 则条带价值 $u(i, x)$ 如下计算:

$$\begin{aligned} o_i &= \lfloor x/D_i \rfloor, e_i = \lfloor (x-D_i/2)/D_i \rfloor \\ n_{ik} &= \begin{cases} (k-1)(o_i+e_i)/2+o_i & k \text{ 为奇数} \\ k(o_i+e_i)/2 & k \text{ 为偶数} \end{cases} \\ u(i, x) &= n_{ik}v_i \end{aligned} \quad (2)$$

令 $n = \sum_{i=1}^m g_i$, $H = [h_1, h_2, \dots, h_n]$ 为条带宽度向量,
 $U = [u_1, u_2, \dots, u_n]$ 为条带价值向量。

2.3 算法模型

通过求解如下背包函数^[5], 可确定子板材 $l \times w$ 中条带水
 平时的最大价值 $FX(l, w)$:

$$FX(l, w) = \max\left\{\sum_{i=1}^n u_i y_i; \sum_{i=1}^n w_i y_i \leq w, y_i \text{ 为非负整数}, i = 1, 2, \dots, n\right\} \quad (3)$$

其中, $0 \leq l \leq L$ 且 $0 \leq w \leq W$ 。同理可以得到 $FY(l, w)$ 。当
 采用动态规划算法求解式(3)时, 一旦已经求出 $FX(l, w)$, 则
 对于所有的 $y = 0, 1, \dots, w$, $FX(l, y)$ 成为已知的。

2.4 算法实现

算法1 确定最优切割线位置及排样方式的价值

如下为对于 X 方式, 确定最优切割线的位置及方式价值;
 对于 Y 方式, 算法是类似的。

设水平切割线 X , 竖直切割线 Y , 初始令 $X=0, Y=0,$
 $V_x=0$ 。

步骤1 若 $X > L/2$, 转步骤7。

步骤2 $VA = \max\{FX(X, W), FY(X, W)\}$ 。

步骤3 若 $Y > W/2$, 令 $VB = \max\{FX(L-X, Y), FY(L-X, Y)\},$
 $VC = \max\{FX(L-X, W-Y), FY(L-X, W-Y)\}$; 否则转步骤6。

步骤4 若 $V_x < VA+VB+VC$, 令 $V_x = VA+VB+VC$; 否则转
 步骤5。

步骤5 令 $Y=Y+1$, 转步骤3。

步骤6 令 $X=X+1$, 转步骤1。

步骤7 返回 V_x , 最优切割线位置 X 和 Y 。

算法2 确定最优3块排样方式的总算法

步骤1 由2.2节所述方法确定条带宽度向量 H 和条带价
 值向量 U 。

步骤2 求解式(3)确定 $FX(x, y)$ 和 $FY(x, y), x = 0, 1, \dots, L; y =$
 $0, 1, \dots, W$ 。

步骤3 调用算法1确定最优 X 切割方式和最优 Y 切割方
 式, 取价值较大者为最优排样方式, 记录其价值及水平和竖
 直切割线的位置。

2.5 算法复杂度分析

分析本文涉及的2个主要算法的复杂度, 其中算法1的
 复杂度约为 $O(LW/4)$, 算法2中步骤2的复杂度约为
 $O(nLW)$, 步骤3中的复杂度通常远小于 $O(nLW)$, 故步骤2
 的复杂度决定了整个算法2的复杂度, 算法2的复杂度约为
 $O(nLW)$ 。

3 实验计算结果

用 Intel(R) Core 2 CPU, 主频为 2.20 GHz, 内存为 1 GB
 的计算机进行实验, 将3块排样方式和T型排样方式^[2]进行
 比较。因为T形排样方式形成3块排样方式的一个子集, 采
 用3块排样方式可提高材料利用率是确定无疑的。

表1所示为5道例题, 每题包括10种圆片, 最后一列为
 板材尺寸数据(长度×宽度)。条带中最多可含3排圆片, 工艺
 余量为5。

表1 圆片直径及板材尺寸 mm

例题	直径										尺寸
例1	108	150	404	256	221	269	425	304	226	447	1 543 × 1 073
例2	165	136	350	347	424	491	389	328	315	317	1 825 × 1 484
例3	161	190	119	448	495	254	407	221	210	447	1 809 × 1 109
例4	166	126	342	350	427	318	306	374	327	351	1 832 × 1 125
例5	112	117	339	450	482	416	306	265	438	393	1 564 × 1 416

表2中列出利用率对比效果, 从中可看出3块排样方式
 利用率比T形排样方式有所提高。生成5种排样方式的计
 算时间接近, 平均约为2.234 s。

表2 排样方式的利用率比较

排样方式	利用率/(%)				
3块	74.832 6	76.157 3	76.872 5	74.589 3	75.639 3
T型	74.293 9	75.641 6	75.795 8	74.270 9	75.618 3

例1和例2的3块排样方式分别如图3和图4所示。

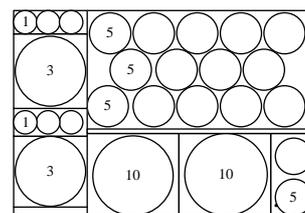


图3 例1的3块排样方式

(下转第220页)