

# 矩形毛坯最优层排样方式的动态规划算法<sup>\*</sup>

王晓庆, 李尚芳, 崔耀东

(广西师范大学 计算机科学与信息工程学院, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 讨论矩形毛坯无约束二维剪切排样问题, 提出层排样方式的动态规划算法, 使板材所含毛坯总价值最大。排样时使用一组平行的剪切线将板材分割为多个层, 层的长度等于板材的长度或宽度, 宽度等于最左边主毛坯的高度。通过动态规划算法确定所有可能尺寸层的最大价值和板材中层的最优组合。实验结果表明, 该算法在满足实际应用要求的同时, 板材利用率和计算时间两方面都较有效。

**关键词:** 二维切割; 剪切; 层排样方式; 动态规划

中图分类号: TP301.6 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2010)06-2040-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.06.012

## Dynamic programming algorithm for generating optimal layer patterns of rectangular blanks

WANG Xiao-qing, LI Shang-fang, CUI Yao-dong

(School of Computer Science & Information Engineering, Guangxi Normal University, Guilin Guangxi 541004, China)

**Abstract:** Focusing on the unconstrained two-dimensional guillotine cutting problem of rectangular blanks, this paper proposed a dynamic programming algorithm to generate layer patterns, making the total value of the blanks included in the plant reach its maximum. The algorithm divided the plate into layers with horizontal cuts. The length of the cuts was equal to the length or width of the plate, the width was the same as the height of the leftmost blank in the layer. The dynamic programming algorithm determined the optimal value of all the layers and the optimal combination of the layers included in the plate. The computational results indicate that the algorithm can satisfy the requirement of actual application and is efficient both in material utilization and in computation time.

**Key words:** two-dimensional cutting; guillotine cutting; layer pattern; dynamic programming

## 0 引言

讨论矩形毛坯无约束二维剪切排样问题 (unconstrained two-dimensional cutting problem, UTDC)<sup>[1]</sup>: 将板材  $L \times W$  切成  $m$  种毛坯, 第  $i$  种毛坯尺寸为  $l_i \times w_i$ , 价值为  $v_i$  ( $1 \leq i \leq m$ ), 对每种毛坯在板材中出现的次数无约束, 排样的目标是使板材所含毛坯的总价值最大。

UTDC 算法的作用是与线性规划相结合, 解决二维下料问题 (two-dimensional cutting stock problem, TDCS)<sup>[2]</sup>。在 TDCS 中, 使用板材  $L \times W$  切出  $m$  种毛坯, 第  $i$  种毛坯尺寸为  $l_i \times w_i$ , 需求量为  $d_i$ ,  $i = 1, \dots, m$ , 排样的目标是满足对全部毛坯的需求所需要的板材总面积最小。采用好的 UTDC 算法, 有效提高下料利用率, 降低产品成本。

很多文献对 UTDC 进行了研究, 文献[3, 4]采用动态规划算法生成二阶段排样方式如图 1(a) 所示, 通过两个阶段将板材切成毛坯, 在同一阶段内剪切线方向一致, 相邻阶段剪切线方向垂直, 同规则生成三阶段排样方式。文献[5]采用递归算法生成二段排样方式如图 1(b) 所示, 将板材分成两段, 同一段中条带的长度和方向均相同, 两段的条带方向平行或垂直。文

献[6]采用递归算法生成简单块排样方式如图 1(c) 所示, 将毛坯放入当前块时, 按价值最大原则选择水平或垂直分割块。但企业下料环节影响排样的因素很多, 随着生产的发展, 这些因素在不断变化, 具有新特性的排样问题不断出现。例如, 部分企业采用双时段下料工艺, 第一时段利用具有多把平行刀具的自动机床将尺寸较大的板材分割为多个板块, 第二时段使用普通设备将尺寸较小的板块分割为毛坯。在这种下料工艺中使用两阶段排样方式, 可充分发挥自动机床的效率 (可同时使用多把刀具), 但板材利用率较低。使用二段、三阶段或块排样方式, 板材利用率可以提高, 但有可能不能充分发挥第一时段自动机床的效率, 从而大大增加第二时段人工操作的工作量。如图 1(b) 和 (c) 所示的情况, 在第一时段均无法同时使用多刀具切割。本文提出层排样方式的动态规划算法, 在保证板材利用率的同时, 可以充分发挥自动机床的效率, 减少人工操作量, 为生产实践提供更多的选择。

## 1 板材层排样方式

图 2 为两种层排样方式, 数字表示毛坯序号, 箭头所示水平线将板材分成层, 层宽度等于左边主毛坯的高度。图 2(a)

收稿日期: 2009-10-26; 修回日期: 2009-11-25 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; 广西区研究生教育创新计划资助项目 (2009106020812M64)

作者简介: 王晓庆 (1985-), 女, 山西昔阳人, 硕士, 主要研究方向为优化计算技术与 CAD (wangxiaqing399@163.com); 李尚芳 (1987-), 女, 硕士, 主要研究方向为优化计算技术与 CAD; 崔耀东 (1957-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为优化计算技术与 CAD。



的板块中所含毛坯的最大价值。同理可得到板材 90° 旋转时层排样方式所含毛坯的最大价值  $V_{\max}^2 = \text{bagVal}(V_h^1, L)$ 。由此板材层排样方式所含毛坯所能达到的最大价值  $V = \max(V_{\max}^1, V_{\max}^2)$ 。

```

1 for h=0 to τ; let f(h) = 0
2 for h = τ to W
3   for j = 1 to 2m
4     if (h < hj) continue
5     let v = Vvj + f(h - hj)
6     if v > f(i) then let f(i) = v
7 return f(W)
    
```

2.4 板材层排样方式算法

根据动态规划原理,综合 2.1 ~ 2.3 节所述,本文排样算法步骤如下:

- a) 输入板材与各毛坯数据。
- b) 通过动态规划算法求解所有可能尺寸块  $x \times y$  的最大价值  $F(x, y)$ 。
- c) (a) 求解板材水平放置时,所有层的最大价值  $V_h^1 (1 \leq j \leq 2m)$ 。
- (b) 求解板材 90° 旋转放置时,所有层的最大价值  $V_h^2 (1 \leq j \leq 2m)$ 。
- d) 通过动态规划原理求解一维背包问题。
- (a) 得到板材水平放置时,层排样方式所含毛坯的最大价值  $V_{\max}^1$ ;
- (b) 得到板材 90° 旋转放置时,层排样方式所含毛坯的最大价值  $V_{\max}^2$ ;
- (c) 得到板材层排样方式所含毛坯最大价值  $V = \max(V_{\max}^1, V_{\max}^2)$ ;
- e) 根据板材排样过程反向追踪,得到层排样方式中毛坯布局。

3 实验结果

用 Intel® Core 2 CPU,主频为 2.20 GHz、内存为 1 GB 的计算机进行测试。

3.1 不同排样方式的比较

采用文献[3]中的例题,可以通过 <http://www.laria.upicardie.fr/hifi/OR-Benchmark/> 下载。毛坯的价值等于其面积。该文献生成经典二阶段、三阶段排样方式,这里用  $V_{2\text{STAGE}}$ 、 $V_{3\text{STAGE}}$  表示文献中得到的二阶段、三阶段排样方式板材所含毛坯的总价值; $V$  表示本文算法得到的层排样方式板材所含毛坯的总价值; $T_{2\text{STAGE}}$ 、 $T_{3\text{STAGE}}$ 、 $T$  分别表示计算时间。

表 1 为对例题采用不同排样方式的结果。分析表 1,从板材利用率来看,15 道题目中 15 题均有  $V \geq V_{2\text{STAGE}}$ 。其中 7 题  $V > V_{2\text{STAGE}}$ ,8 题  $V = V_{2\text{STAGE}}$ ,说明二阶段排样方式虽然能充分发挥自动机床的效率,但板材利用率较低。与三阶段方式相比较,8 题  $V = V_{3\text{STAGE}}$ ,另 7 题  $V < V_{3\text{STAGE}}$ ,部分层方式的价值较小,但两种排样方式板材平均利用率之差仅为 0.15%,三阶段板材利用率虽高,但很可能在第一阶段只有少数几条剪切线,没有层方式可同时利用的切割刀具数量多。从平均计算时间来看,  $T < T_{2\text{STAGE}} < T_{3\text{STAGE}}$ 。

表 1 不同排样方式结果(15 个例题)

ID	$L \times M$	$m$	$V_{3\text{STAGE}}$	$V_{2\text{STAGE}}$	$V$	$T_{3\text{STAGE}}$	$T_{2\text{STAGE}}$	$T$
M1	100 × 156	10	15468	15468	15468	1.76	0.07	0.14
M2	253 × 294	10	73080	72172	72532	7.46	0.20	0.15
M3	318 × 473	10	147054	146995	146995	5.66	0.31	0.17
M4	501 × 556	10	273991	273991	273991	9.00	0.32	0.18
M5	750 × 806	10	586879	577882	577930	16.60	0.49	0.21
B	3000 × 3000	32	9000000	8997780	9000000	87.82	7.03	11
UU1	500 × 500	25	246046	246046	246046	17.27	0.80	0.20
UU2	750 × 800	30	595655	593256	595288	49.00	1.47	0.34
UU3	1100 × 1000	25	1089308	1082504	1087112	42.46	1.61	0.43
UU4	1000 × 1200	38	1188638	1188638	1188638	186.47	2.79	0.85
UU5	1450 × 1300	50	1878253	1878253	1878253	352.17	4.40	1.60
UU6	2050 × 1457	38	2951202	2951202	2951202	262.86	4.60	2.65
UU7	1465 × 2024	50	2949043	2935834	2947961	942.38	6.07	3.82
UU8	2000 × 2000	55	3974828	3959352	3974828	444.47	6.60	2.70
UU9	2500 × 2560	60	6110442	6108427	6108427	739.71	8.91	4.18
平均值(板材利用率、 计算时间)			98.86%	98.55%	98.71%	210.39	6.99	1.91

表 1 说明层排样方式的动态规划算法在更适合实际应用的同时,板材利用率和计算时间两方面都较有效。两段排样方式与三阶段排样方式同理,由于文献[5]中毛坯不能旋转,本文不作比较。

3.2 大规模数据测试

采用文献[6]中的 10 组例题 (APT10 ~ APT19),可通过 3.1 节中网站下载。这些例题板材尺寸在 1 500 ~ 3 000 间,每毛坯种数  $m$  在 30 ~ 60 间,每种毛坯的价值等于其面积。表 2 为计算结果。其中  $V_{SB}$  为文献[6]通过递归算法得到的板材所含毛坯最大价值,  $T_{SB}$  为计算时间,  $V$  为本文算法得到的板材所含毛坯最大价值,  $T$  为计算时间,  $\text{usage}$  为本文算法得到的板材利用率。

表 2 与简单块排样方式比较

ID	$L \times W$	$m$	$V_{SB}$	$V$	usage/%	$T_{SB}$	$T$
APT10	2097 × 1713	51	3591980	3591783	99.989	19.33	4.79
APT11	2600 × 1612	58	4190479	4188599	99.938	26.45	10.25
APT12	2662 × 1941	35	5162097	5156153	99.791	20.88	5.00
APT13	1674 × 2090	54	3498302	3496773	99.946	19.80	5.12
APT14	2090 × 2138	42	4466844	4466098	99.948	20.99	3.05
APT15	2726 × 2222	49	6054955	6051027	99.899	39.00	7.07
APT16	2899 × 2614	53	7573172	7567027	99.855	54.03	7.84
APT17	2313 × 1962	59	4537842	4537842	99.994	32.75	6.54
APT18	2775 × 2105	31	5835996	5834516	99.883	23.13	4.42
APT19	2284 × 2994	35	6831801	6830623	99.879	30.58	6.37
平均值(板材利用率、 计算时间)			99.953	99.912		28.69	6.05

分析表 2,从板材利用率来看,虽然只有 APT17 可以与简单块排样方式持平,但两种排样方式板材平均利用率之差仅为 0.04%,且利用率均达到 99.9% 左右。简单块排样方式板材利用率稍高,但如图 1(c) 所示情况,在第一时段可能只有一条剪切线(使用一把刀具),不能充分发挥自动机床多刀具的效率。从计算时间来看,10 组数据层排样方式所需平均计算时间明显减少。图 2 中,(a) 为例题 APT15 的 X 向层排样方式图,板材所含毛坯总价值为 6 048 942;(b) 为 Y 向层排样方式图,板材所含毛坯总价值 6 054 955。最终选择 Y 向层排样方式作为排样结果。

4 结束语

与其他类型的排样方式相比,层排样 (下转第 2067 页)

最大误差率为 4%,RBF 神经网络模型最大误差率为 10%,优化的 LS-SVM 模型精度高于 RBF 神经网络模型。

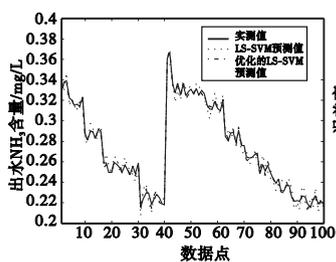


图3 出水NH<sub>3</sub>含量预测

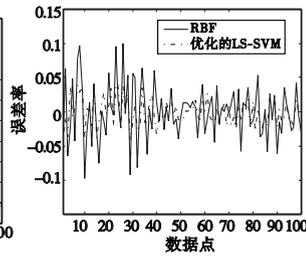


图4 优化的LS-SVM和RBF模型误差率比较

### 3.2 语音情感识别

语音情感识别是根据某些特性标准对语音情感作一个有效合理的分类,然后在不同类别的基础上研究特征参数的性质。目前在语音情感研究中常用的情感大多分为欢快、愤怒、惊奇、悲伤四种情感模型<sup>[9]</sup>。

特征参数的选择将直接影响到分类的性能。一般来说,语音中的情感特征往往通过语音韵律的变化表现出来。语音情感的变化通常可以体现为语音特征参数的变化。统计分析表明:欢快时,通常是语速较快,音量较大;悲伤时,通常是语速缓慢,音量较小;愤怒时,通常是语速较快,音量较大,音调较高。

选择 10 个情感特征参数<sup>[10]</sup>:语句发音持续时间、平均基音频率、最高基音频率、基音频率的平均变化率、平均振幅能量、振幅能量的动态范围、共振峰频率的平均值、共振峰频率的平均变化率、共振峰峰值点回归直线的平均斜率和共振峰峰值的平均值。实验所采用的情感语音包含愤怒、欢快、悲伤、惊奇四类,每类情感包括 200 句语音。每类情感中的 100 句作为训练样本,100 句作为测试样本。所有的情感语音均由一名男性发音人在安静环境下录音得到,采样率为 8 000 Hz。免疫算法中抗体种群规模  $N = 80$ ,最大迭代次数  $G = 400$ ,变异率  $P_m = 0.1$ ,抗体克隆抑制阈值为 0.001。针对 400 句情感测试语音进行了情感识别实验,识别结果如表 2 所示。

表 2 两种算法识别率比较/%

情感	LS-SVM	优化的 LS-SVM	情感	LS-SVM	优化的 LS-SVM
愤怒	88	93	惊奇	80	85
欢快	81	87	平均	84.3	89.3
悲伤	88	92			

通过对情感语音识别系统进行的实验可以看出,采用优化

的 LS-SVM 识别率要高于未优化的 LS-SVM。四种情感状态的识别率有着较大的差异。其中愤怒和悲伤的识别率高,欢快和惊奇的识别率略低。另外,愤怒和悲伤这两种情感相互之间的误判率也较低,而欢快和惊奇相互之间误判率则较高。

### 4 结束语

本文提出了一种免疫优化多输出 LS-SVM 方法,并将该方法应用于污水生化处理过程建模和汉语语音情感识别中。实验结果表明,该方法提高了 LS-SVM 的分类性能,具有更高的精度。另外,本文的实验语句是在安静环境中录制的。如何进一步提高算法的抗噪声性能,将是下一步的研究方向。

### 参考文献:

- [1] VAPNIK V N. The nature of statistical learning theory [M]. New York: Springer-Verlag,1995.
- [2] YUE Shi-hong, LI Ping, HAO Pei-yi. SVM Classification: its contents and challenges [J]. Applied Mathematics: A Journal of Chinese Universities,2003,18(3):332-342.
- [3] SMOLA A J, SCHOLKOPF B. A tutorial on support vector regression [J]. Statistics and Computing,2004,14(3):199-222.
- [4] KEERTHI S S. Efficient tuning of SVM hyper parameters using radius/margin bound and iterative algorithms [J]. IEEE Trans on Neural Network,2002,13(5):1225-1229.
- [5] AVCI E. Selecting of the optimal feature subset and kernel parameters in digital modulation classification by using hybrid genetic algorithm support vector machines: HGASVM [J]. Expert Systems with Applications,2009,36(2):1391-1402.
- [6] SUYKENS J A K, GESTEL T V, BRABANTER J D, et al. Least squares support vector machines [M]. Singapore: World Scientific Publishers, 2002.
- [7] De CASTRO L N, von ZUBEN F J. The clonal selection algorithm with engineering applications [C]//Proc of GECCO'00, Workshop on Artificial Immune Systems and Their Applications. Las Vegas:[s. n.],2000:36-37.
- [8] 杜树新. 污水生化处理过程建模与控制[J]. 控制理论与应用,2002,19(5):660-664.
- [9] 赵力,钱向民,邹采荣,等. 语音信号中的情感识别研究[J]. 软件学报,2001,12(7):1050-1055.
- [10] 赵力,王治平,卢韦,等. 全局和时序结构特征并用的语音信号情感特征识别方法[J]. 自动化学报,2004,30(3):423-429.

(上接第 2042 页)方式在保证板材利用率的同时,能够充分发挥自动机床的效率,减少人工操作量。本文提出的动态规划算法设计简单,所需计算时间短。将本文算法与线性规划算法结合用于解决二维下料问题,为生产实践提供更多的选择,可作为本文的后续研究内容。

### 参考文献:

- [1] 崔耀东,黄健民,张显全. 矩形毛坯无约束二维剪切排样的递归算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2006,18(7):948-951.
- [2] 崔耀东. 计算机排样及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004:90-92.
- [3] HIFI M. Exact algorithms for large-scale unconstrained two and three staged cutting problems [J]. Computational Optimization and Ap-

- plications,2001,18(1):63-88.
- [4] CUI Yao-dong, WANG Z, LI J. Exact and heuristic algorithms for staged cutting problems [J]. Journal of Engineering Manufacture,2005,219(B2):201-208.
- [5] CUI Yao-dong, HE Dong-li, SONG Xiao-xia. Generating optimal two-section cutting patterns for rectangular blanks [J]. Computers and Operations Research,2006,33:1505-1520.
- [6] CUI Yao-dong. Simple block patterns for the two-dimensional cutting problem [J]. Mathematical and Computer Modelling,2007,45(7-8):943-953.
- [7] 何冬黎,崔耀东. 一种卷材填充分层递归排样的优化算法[J]. 计算机应用,2008,28(6):1632-1634.
- [8] 王晓东. 计算机算法设计与分析[M]. 3 版. 北京:电子工业出版社,2007:48-49.