

# 基于自适应遗传算法和多条带策略的排样方法研究

许华杰<sup>1</sup> 檀洪森<sup>1</sup> 胡小明<sup>2</sup>

(广西大学计算机与电子信息学院 南宁 530004)<sup>1</sup>

(上海第二工业大学计算机与信息工程学院 上海 201209)<sup>2</sup>

**摘要** 针对现代工业工艺生产中普遍存在的矩形件排样优化问题,在遗传算法的主要环节应用性能较优的算子对矩形件排样序列进行了求解,并运用交叉概率和变异概率能自适应调整的方法来提高遗传算法的收敛速度及稳定性。提出了满足工艺生产切割要求的多条带策略,辅以最低水平线算法的择优插入策略对矩形件序列进行解码。实验结果表明,与分层策略相比,所提出的排样方法不仅能得到更高、更稳定的板材利用率,而且还能提高工艺生产的效率并降低生产的时间成本,具有重要的现实意义。

**关键词** 自适应遗传算法,矩形件排样,多条带策略,最低水平线算法,板材利用率

**中图分类号** TP301.6 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.4.056

## Research of Packing Method Based on Adaptive Genetic Algorithm and Multi-strip Strategy

XU Hua-jie<sup>1</sup> TAN Hong-sen<sup>1</sup> HU Xiao-ming<sup>2</sup>

(School of Computer and Electronic Information, Guangxi University, Nanning 530004, China)<sup>1</sup>

(School of Computer and Information Engineering, Shanghai Second Polytechnic University, Shanghai 201209, China)<sup>2</sup>

**Abstract** Aiming at the common rectangular packing optimal problems among the craft production of modern industries, the operators of genetic algorithm with better performance were applied to find the rectangular sequences, and the method with adaptively adjustable crossover probability and mutation probability was used to improve the genetic algorithm's convergence speed and stability. A multi-strip strategy under the constraint of craft production was proposed, along with using the optimization inserting strategy of lowest horizontal line algorithm as the decoding method. According to the experiment results, a higher and more stable utilization of sheet can be achieved than the hierarchical strategy, the efficiency at craft production can be improved and the time cost can be reduced by using the proposed packing method. It is of great realistic significance.

**Keywords** Adaptive genetic algorithm, Rectangle packing, Multi-strip strategy, Lowest horizontal line algorithm, Utilization of sheet

## 1 引言

矩形件排样问题广泛存在于板材加工、航空航天、机械制造、玻璃制造、大规模集成电路、纺织服装等工业设计中,该问题已被证明属于 NP 完全问题,无法直接计算得到其最优解,只能通过启发式算法等方法对其近似最优解进行求解。多年来国内外学者对矩形件排样问题近似最优解的求解方法不断进行研究,并探索通过运用各种群智能算法如遗传算法、模拟退火算法、蚁群算法、粒子群算法等来解决该优化问题,以求得其近似最优解。

遗传算法是 Holland 受生物进化机理启发而发展并创立的一类模拟进化算法<sup>[1-3]</sup>,由于受当时计算机技术发展水平的限制,遗传算法在问世之初并未得到广泛的应用。随着计算机技术的发展,遗传算法经过不断改进,在众多学科领域得到

了较为广泛的应用,如计算机科学、建筑工程、组合优化、图像处理、金属材料加工和生产调度等都是遗传算法发展的受惠领域。针对矩形件排样优化问题,本文运用自适应遗传算法进行求解,并在遗传算法的主要环节中应用了性能较优的算子进行操作,以达到弥补经典遗传算法存在的缺陷和提高算法收敛速度及稳定性的目的。

由于工业生产中切割机的工艺限制,近年来多种满足工艺生产切割要求的排样方式相继被提出,崔耀东提出了组块算法<sup>[4,5]</sup>,将矩形件套排成大小不同的矩形组块,一个矩形组块可以包含多个矩形件,下料时按矩形组块在板材上切割。文献[6]在三阶段切割约束下进行排样,取得了不错的效果。文献[7]采用分层策略排样方式对矩形件排样问题进行求解,取得了较理想的排样效果。本文运用自适应遗传算法求解矩形件排样问题:以矩形件序列作为遗传算法中的个体,以矩形

到稿日期:2015-04-16 返修日期:2015-08-31 本文受广西自然科学基金项目(2014GXNSFAA118382),广西大学博士启动基金项目(XBZ140491),上海市教育委员会科研创新项目(14ZZ167),国家自然科学基金项目(71463003)资助。

许华杰(1974-),男,博士,副教授,主要研究方向为智能算法、无线传感器网络、物联网、移动计算, E-mail: hjxu2009@163.com; 檀洪森(1989-),男,硕士生,主要研究方向为智能算法、排样算法; 胡小明(1978-),女,博士,副教授,主要研究方向为密码学、信息安全、网络安全。

件序列排放完毕后得到的板材利用率作为优化的目标函数,并以该非负的目标函数值作为遗传算法中个体的适应度值,在此基础上采用自适应遗传算法对各个个体进行选择、交叉和变异等操作,最后根据优化结果得到的适应度值最高的个体解码得出对应的排样图作为矩形件排样问题的解。此外,在对遗传算法中的个体进行解码时,针对文献[7]提出的分层策略产生废料较多的不足,提出一种在排样过程中满足工艺生产切割要求的多条带策略,并辅以最低水平线择优插入策略构成的启发式算法将遗传算法中的个体解码作为对应的排样图,并从中选出板材利用率最高的排样图作为最优排样方案输出。

## 2 问题描述及其数学模型

矩形件优化排样问题属于组合优化问题,从复杂度分析,该问题属于 NP 完全问题。本文将矩形件排样问题描述为:在宽度为  $W$ 、高度不限的板材上对所需的矩形件  $R_1, R_2, \dots, R_n$  进行排放,使得排放完所有矩形件后所占用的板材高度最低,从而使得板材利用率达到最高。

矩形件排样优化问题的优化目标为:求解使得板材利用率达到最高的矩形件排放方案。本文提出的方法在对矩形件进行排样之前,首先沿板材高度方向将板材划分为若干条带,条带数量设为  $q$ 。当所有矩形件排放完后,第  $i$  条条带占用板材的最大高度记为  $H_i$ ,宽度为  $W_i$ ,其中  $i=1, 2, \dots, q, l_j \times w_j$  为第  $j$  个矩形件的面积,其中  $j=1, 2, \dots, n, n$  为矩形件数量。 $F$  为矩形件序列对应的板材利用率,则矩形件排样问题的目标函数为:

$$\max F = \frac{\sum_{j=1}^n l_j \times w_j}{\sum_{i=1}^q H_i \times W_i} \quad (1)$$

对矩形件进行排样有如下限制:(1)排入的矩形件间不能有重叠现象;(2)任意一个矩形件排入时不能超出板材的边界。

## 3 排样方法中采用的多条带策略

文献[7]中提出的分层策略的思想为:以板材的宽度为层的宽度,沿板材的高度方向进行分层,并在每层的水平方向上排放矩形(如图1所示)。该策略的不足之处在于:采用该策略排放矩形件到最后时,当最顶层上的矩形件较少或有些矩形件恰好横排时,由于通常是按最左-最下原则进行排放,已排样板材的右方和上方会出现较大块的空闲区域,意味着会产生较多的废料。

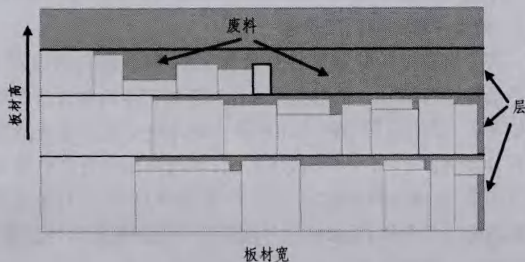


图1 分层策略示意图

针对分层策略的不足,本文提出一种多条带策略:以板材的宽度为宽,沿板材高度方向将板材划分为多条条带,并在各

条带上分层排放矩形件。由于条带在水平方向上的长度(即条带的宽)比分层策略中层的宽度小,因此产生的空闲区域相对较小,意味着产生的废料相应较少,如图2所示。

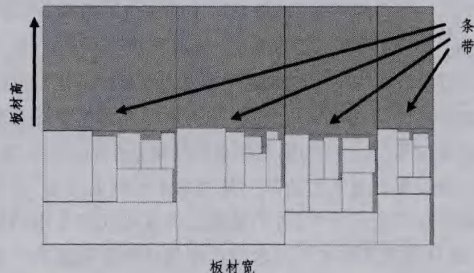


图2 多条带策略示意图

此外,所提出的多条带策略可以满足三阶段切割的工艺要求,采用该策略对板材进行切割的过程如图3所示。

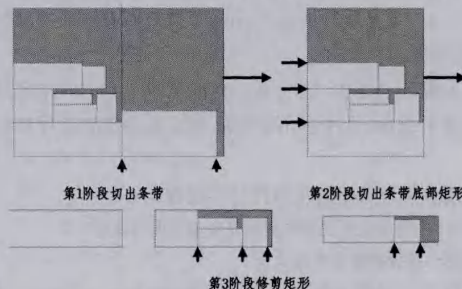


图3 多条带策略下的三阶段切割示意图

## 4 多条带策略下的矩形件排放过程

为了便于对采用多条带策略进行排样的过程进行说明,先作如下定义。

**定义1(第一类水平线)** 排样过程的初始阶段,将待排矩形件沿着板材宽度方向排放,直至板材余下的宽度再也无法排入任何待排矩形件为止,在此过程中生成的水平线称为第一类水平线,如图4(a)所示,图中的1、2、3、4号水平线为第一类水平线。

**定义2(第二类水平线)** 在第一类水平线确定后,选取第一类水平线中高度最低的一条,在其所对应的条带区域中继续排放余下的矩形件,此过程中产生的水平线称为第二类水平线,如图4(b)所示,图中的1、2、3号水平线为第二类水平线。

在采用本文所提出的多条带策略进行矩形件排样的过程中,首先声明两个  $n$  行 2 列的二维数组  $Line1[n][2]$  和  $Line2[n][2]$ ,分别用来存储第一类和第二类水平线的高度和宽度,两数组的第 0 列均存储水平线的高度,第 1 列均存储水平线的宽度,其中  $n$  为矩形件数量。策略执行过程中在第一类水平线生成完毕后辅以文献[8]所提出的最低水平线择优插入策略进行解码,具体过程如下。

多条带策略(辅以最低水平线择优插入策略)解码流程:

**Step 1** 每次选取第一类水平线中高度最低的一条(如图4(b)中的  $L$ ),并在此水平线之上的空闲区域中排放矩形件(详见后文的“采用多条带策略的矩形件排样过程”),在此过程中第二类水平线也随之生成;为满足三阶段切割要求,在水平线  $L$  上排放的矩形件中第二个及其后所有矩形件排放

的总高度不得高于第一个矩形件(例如图 4(b)中的矩形件 3)的高度;条带中介于第二类水平线的宽度与水平线  $L$  上第一个矩形件(如图 4(b)中的矩形件 3)的高度之间的区域称为该条带中的一个空闲区域(如图 4(b)中的深色阴影部分所示)。

Step 2 对于第二类水平线,选取高度最低的一条并判断其上方所对应的空闲区域能否排放当前待排的矩形件。为了提高机器的切割效率,在无法排入矩形件而需要提升水平线高度时,若该水平线为第二类水平线集合中的最后一条,则将该水平线提升至其左边第一条相邻水平线的高度,并将这两条水平线的宽度合并;若不是第二类水平线集合中的最后一条,则只提升其高度至左右两边相邻且高度较低的一条水平线的高度,而不需合并这两条水平线的宽度。当条带中所有的第二类水平线所对应的空闲区域中均不能排放余下的任一待排矩形件时,将水平线  $L$  的高度提升至水平线  $L$  上排放的第一个矩形件(例如图 4(b)中的矩形件 3)的高度。

Step 3 重复执行 Step 1、Step 2 直至所有矩形件排放完毕,流程结束。

在步骤 Step 1 中,选取第一类水平线  $Line1$  中高度最低的一条水平线后,采用多条带策略的矩形件排放过程描述如下。

采用多条带策略的矩形件排样过程:

输入:  $Line1$  中高度最低的水平线的高度和宽度及其序号  $k$

输出: 矩形件排放的位置坐标

初始化: 将  $Line2$  中所有水平线的高度和宽度初始化为所输入的水平线的高度和宽度,此时  $Line2$  中的水平线数量为 1(尚未在输入的水平线上方的区域排放矩形件)

If ( $Line2$  中水平线数量等于 1)

```
{
  If (找到待排矩形件可以排入)
  {
    计算  $Line2$  中此时被选中的水平线左端点的横坐标和纵坐标,该横坐标和纵坐标即为将要排进来的矩形件左下角的横、纵坐标;
    更新矩形件排放的坐标并将选中的矩形件排入;
    更新  $Line1$  中第  $k$  号水平线的高度和宽度;
    更新  $Line2$  中水平线的高度和宽度以及数量;
  }
}
```

```
Else
{
  提升  $Line1$  中第  $k$  号水平线至与其相邻的、高度较低的一条水平线,并合并两条水平线的宽度;
}
```

```
}
Else
{
```

```
  搜索  $Line2$  中高度最低的水平线,这里假设为第  $k1$  号水平线;
  If (找到待排矩形件可以排入)
  {
    计算  $Line2$  中此时被选中的水平线左端点的横坐标和纵坐标,该横坐标和纵坐标即为将要排进来的矩形件左下角的横、纵坐标;
    更新矩形件排放位置坐标并将矩形件排入;
    更新  $Line2$  中水平线的高度和宽度以及数量;
  }
}
```

```
Else
{
```

```
If (第  $k1$  号水平线为  $Line2$  中最后一条)
{
  提升第  $k1$  号水平线的高度至第  $k1-1$  条水平线的高度并合并两条水平线的宽度;
}
Else
{
  只提升第  $k1$  号水平线的高度至与其相邻的左右两条水平线中高度较低的水平线的高度,不合并其宽度;
}
}
```

若  $Line2$  中所有水平线的高度相等且等于第一条水平线的高度,则更新此时  $Line1$  中  $k$  号水平线的高度为  $Line2$  中第一条水平线的高度,过程执行完毕。

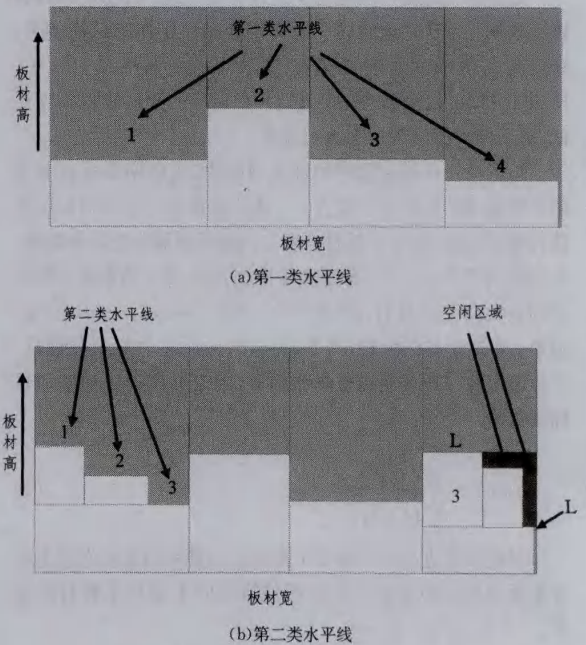


图 4 两类水平线生成示意图

## 5 自适应遗传算法的应用

矩形件排样问题属于组合优化问题,遗传算法是求解该类问题的一种较理想的方法。本文将自适应遗传算法用于求解矩形件排样问题,求解的过程中在初始种群的产生、选择、交叉和变异等环节选取了改进的、性能较优的算子进行操作,且交叉概率和变异概率能够在进化过程中根据进化的进程自适应地进行调整。

### 5.1 初始种群的编码及产生

假设需要排样的矩形件数量为  $n$ ,采用十进制整数对  $n$  个矩形件进行编号。采用经验选择和随机产生两种方法产生初始种群,即将矩形零件按面积从大到小进行排序生成面积序列,再随机产生  $n$  个-1或1的值,并与面积序列中的编号对应相乘,生成一串带有“-”或“+”的面积序列,将其作为遗传算法的一个个体,矩形件序号前带负号说明该矩形件竖排,否则横排。设种群规模大小为  $m$ ,则生成  $m$  串-1或1序列分别与面积序列对应相乘,产生初始种群。

### 5.2 适应度函数

假设待排矩形件序列为  $R_1, R_2, \dots, R_n$ ,遗传算法中的个

体由这一序列的某种排列构成。多条带策略中的条带数量设为  $q$ ，假设当采用某排样方案将待排矩形件序列中的所有矩形件排放完后，第  $i$  条条带所占用户板材的最大高度记为  $H_i$ ，条带宽度为  $W_i$ ，其中  $i=1, 2, \dots, q, l_j \times w_j$  为第  $j$  个矩形件的面积，其中  $j=1, 2, \dots, n, n$  为矩形件数量，则采用该方案进行排样所能得到的板材利用率  $F$  的计算公式如式(2)所示。

$$F = \frac{\sum_{j=1}^n l_j \times w_j}{\sum_{i=1}^q H_i \times W_i} \quad (2)$$

式中， $F$  为某个排样方案所对应的板材利用率，其范围为  $0 \leq F \leq 1$ ，本文在采用自适应遗传算法对排样问题进行求解时将板材利用率  $F$  作为排样方案所对应个体的适应度值，用于衡量该个体的优劣。

### 5.3 选择操作

选择操作在遗传算法中极为关键，它体现了进化机理中的优胜劣汰原则，本文将最优保存策略和轮盘赌选择法相结合，即每一代适应度值排名前 10 位的个体直接保留作为下一代种群的个体，其余个体由轮盘赌选择法进行选择。将这两种方法相结合既可以将进化过程中出现的较优的个体保存下来，又可以保证个体的多样性，兼顾了算法的收敛速度和稳定性。

### 5.4 交叉和变异操作

采用文献[9]中提出的环形交叉和变异方法；在进行交叉和变异操作时，交叉和变异的基因可以环绕整个染色体两端来进行，而不仅仅集中在染色体中间部分的基因。

交叉：两点交叉，在  $[1, n]$  范围内 ( $n$  为染色体的长度) 随机生成两个不相等的整数  $bit1_c$  和  $bit2_c$  作为染色体上交叉执行的两个位置。若  $bit1_c < bit2_c$ ，则将染色体中位于  $bit1_c$  到  $bit2_c$  之间的基因进行交叉操作；若  $bit1_c > bit2_c$ ，则取 1 到  $bit2_c$  和  $bit1_c$  到  $n$  位置上的基因进行交叉操作。

变异：两点变异，在  $[1, n]$  范围内随机生成两个不相等的整数  $bit1_m$  和  $bit2_m$ 。若  $bit1_m < bit2_m$ ，则将染色体中位于  $bit1_m$  到  $bit2_m$  之间的基因分别取反，即对应编号的矩形件由横排变为竖排或由竖排变为横排，其他位置上的基因不变；若  $bit1_m > bit2_m$ ，则将染色体位于 1 到  $bit2_m$  和  $bit1_m$  到  $n$  位置上的基因分别取反，即对应编号的矩形件由横排变为竖排或由竖排变为横排，其他位置上的基因不变。

### 5.5 自适应的交叉概率和变异概率

经典遗传算法的交叉概率和变异概率在种群进化的过程中自始至终都设定为  $(0, 1)$  之间的某个固定值，使得进化过程中较优的个体也与其他个体一样以相同的概率进行交叉和变异，缺乏自适应能力，限制了遗传算法的局部寻优性能。本文引入神经元激活函数 sigmoid<sup>[10, 11]</sup> 对进化过程中的交叉概率和变异概率进行平衡调整，sigmoid 函数图像如图 5 所示。

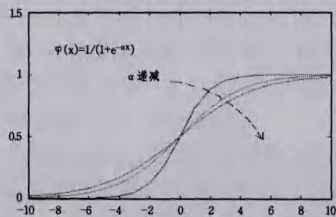


图 5 sigmoid 函数

由图 5 可知，该函数曲线的顶部和底部平滑的特性使得其在线性和非线性之间突显出较好的平衡性。 $\alpha$  取 3 个不同

值时所对应  $\varphi(x)$  的 3 条函数曲线见图 5，当  $\alpha x \geq 9.903438$  时， $\varphi(x) = 1$ ；当  $\alpha x < -9.903438$  时， $\varphi(x) = 0$ 。利用 sigmoid 函数的这种特性构造求解最小优化问题时，自适应交叉概率和变异概率的调整公式分别如式(3)和式(4)所示。

$$P_c = \begin{cases} \frac{P_{cmax} - P_{cmin}}{1 + \exp(A(1 - \frac{(2f_{avg} - f')}{f_{avg} - f_{min}}))} + P_{cmin}, & f' \leq f_{avg} \\ P_{cmin}, & f' > f_{avg} \end{cases} \quad (3)$$

式(3)为自适应交叉概率调整公式，其中  $P_{cmax}$ 、 $P_{cmin}$ 、 $A$  为常数， $A=9.903438$ 。 $P_{cmax}$ 、 $P_{cmin}$  可根据实际需要来设定， $0 < P_{cmin} < P_{cmax} < 1$ ，本文设定  $P_{cmax}$ 、 $P_{cmin}$  分别为 0.9、0.6， $f'$  为进行交叉的两个个体中适应度值较大的个体的适应度值， $f_{avg}$  为当前种群的平均适应度值， $f_{min}$  为当前种群中个体适应度值的最小值。

$$P_m = \begin{cases} \frac{P_{mmax} - P_{mmin}}{1 + \exp(A(1 - \frac{(2f_{avg} - f)}{f_{avg} - f_{min}}))} + P_{mmin}, & f \leq f_{avg} \\ P_{mmin}, & f > f_{avg} \end{cases} \quad (4)$$

式(4)为自适应变异概率调整公式，其中  $P_{mmax}$ 、 $P_{mmin}$ 、 $A$  为常数， $A=9.903438$ 。 $P_{mmax}$ 、 $P_{mmin}$  可根据实际需要来设定， $0.02 < P_{mmin} < P_{mmax} < 0.2$ ，本文设定  $P_{mmax}$ 、 $P_{mmin}$  分别为 0.1、0.05， $f$  为进行变异的个体的适应度值， $f_{avg}$  为当前种群的平均适应度值， $f_{min}$  为种群中个体适应度值的最小值。

式(3)和式(4)在遗传算法进化的过程中对交叉概率和变异概率进行了非线性的自适应调整。在大多数优化问题求解过程中，在种群个体适应度值大小相差甚微的情况下，适当增加适应度值以接近平均适应度值的个体数目，可以促进进化前行，防止算法停滞不前。交叉概率和变异概率自适应调整的方法使得在进化过程中，个体能根据进化的进程进行自适应调整，经实验验证，该方法能较好地提高遗传算法的收敛速度以及算法的稳定性。

## 6 实验案例与分析

运用 C# 语言在 VS2010 编程环境中实现仿真实验，通过以下实验分别对采用自适应遗传算法和本文所提出的多条带策略解决矩形件排样问题的有效性进行验证。

实验 1 板材宽度为 2000 长度单位，种群大小设为 100，矩形件排样问题的规模由待排矩形件的数量决定。本实验中待排矩形件数量为 100，矩形件规格大小由随机方式产生。经典遗传算法中的交叉概率和变异概率分别设定为 0.9 和 0.1，自适应遗传算法中的交叉概率和变异概率取自式(3)和式(4)中自适应变化的交叉概率和变异概率，以 2000 代作为算法的终止条件，在多条带策略下分别对经典遗传算法和自适应遗传算法进行实验，两种算法的迭代过程曲线如图 6 所示，图 7 给出了运用自适应遗传算法求解得到的最优排样图。

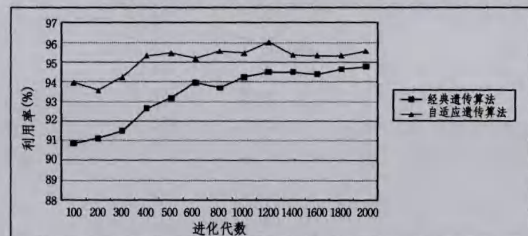
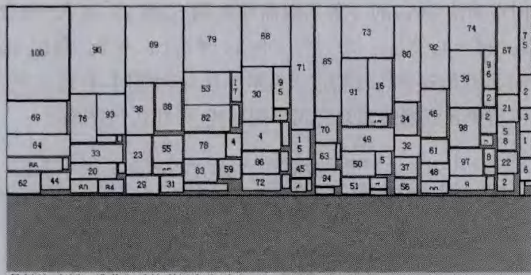


图 6 基于多条带策略的矩形件排样的迭代过程曲线



最好(如上图)、最差和平均利用率分别为: 96.01%, 92.25%, 94.20%

图7 采用自适应遗传算法得到的最优排样图

实验分析:为了获得较优的排样效果,选取了经典遗传算法和自适应遗传算法进行对比实验,从中选择性能较优的算法用于求解矩形件排样问题。从图6可以看到,经典遗传算法在1200代之后的曲线较1200代之前的曲线趋于平缓,但仍略有上升趋势;而自适应遗传算法在400代之后便趋于平缓。由此可见,在运用遗传算法求解排样问题时,采用最优保存策略、环形交叉和变异的方法以及进化的过程中对交叉概率和变异概率进行非线性自适应调整得到的排样效果更优,收敛速度更快。原因是进化过程中在平均适应度值处,交叉概率和变异概率调整曲线变化平缓,从而使接近平均适应度值的个体的交叉概率和变异概率得到提高,进而保证了种群中较优良的个体具有一定的交叉概率和变异概率。此外,为了尽可能地在算法进化后期使较优个体的模式得到保留,应使处于最大适应度值附近的个体的交叉概率和变异概率的自适应调整曲线尽量平滑。个体的交叉概率和变异概率通过以上方式根据进化的进程进行自适应调整,从而加快遗传算法的收敛速度。此外,由图6还可以看出,自适应遗传算法的迭代过程曲线始终在经典遗传算法的迭代过程曲线之上,即在进化代数相同的情况下,自适应遗传算法得到的板材利用率始终比经典遗传算法高,由此可知自适应遗传算法的寻优能力较经典遗传算法强,得到的优化效果更好。运用自适应遗传算法求解得到的最优排样效果如图7所示,板材利用率为96.01%。由以上分析可知,自适应遗传算法的性能总体上优于经典遗传算法,故本文采用自适应遗传算法对矩形件排样问题进行求解。

实验2 采用文献[7]中的实验参数,板材宽度为100长度单位,高度不限,矩形件大小、数量均参照文献[7]中相应的参数,以10组数据进行计算,每组随机产生60个矩形件,以2000代作为算法的终止条件,分别对文献[7]提出的分层策略和本文提出的多条带策略进行对比实验,结果如表1所列。

表1 分层策略与多条带策略的计算结果对比

组号	利用率(%)	
	分层策略	多条带策略
1	93.2	93.57
2	91.7	93.95
3	88.5	94.24
4	90.6	92.64
5	94.1	93.64
6	89.2	93.57
7	92.3	95.77
8	91.9	93.17
9	95.0	94.76
10	92.8	95.06
平均利用率(%)	91.9	94.05

实验分析:由表1中的数据可知,采用多条带策略在10组实验下的板材平均利用率比分层策略提高了2.15%。其中得到的最优板材利用率出现在第7组实验,其排样图如图8所示,对应的利用率为95.77%。在定宽、不限高的板材上进行排样时,分层策略沿板材高度方向进行分层排样,当排样过程进行到最后、最顶层矩形件数量较少时,由于通常是按最左-最下原则进行排放,层的右方和上方会产生较大面积的板材废料;而采用多条带策略进行排样时,由于条带水平方向的宽度比分层策略中层水平方向的宽度小,因此在排样时产生的板材废料面积相对较小,故采用多条带策略得到的板材利用率较分层策略方法高。此外,由表1中的数据还可以得出,采用分层策略的10组实验中,最高利用率与最低利用率之差为6.5%,且其中出现了低于90%的利用率;而多条带策略对应的实验中最高利用率与最低利用率之差为3.13%且未出现低于90%的利用率。另外,分层策略的10组实验中相邻两组实验的利用率之差的平均值为2.67%,而多条带策略下仅为1.11%。由此可见,运用多条带策略求解矩形件排样问题时得到的板材利用率比分层策略更稳定。此外,由表1的结果可知,在单次运行情况下,每组矩形件排样实验中采用多条带策略得到的板材利用率几乎都比采用分层策略的高,说明在单次优化计算的情况下如果采用多条带策略,得到较优结果的概率比采用分层策略大,因此工业生产过程中板材下料若采用多条带策略,则可以实现排样方案的快速求优(只需单次优化运算即可得到理想的结果),能够有效提高企业生产效率,降低企业生产的时间成本。综合以上分析,实验2的结果表明本文提出的多条带策略在解决矩形件排样问题时优于分层策略。



此方案利用率:95.77%

图8 多条带策略下第7组实验得到的最优排样图

结束语 本文运用自适应遗传算法求解矩形件排样问题,通过在进化过程中对交叉概率和变异概率进行非线性调整,并在进化过程的初始种群产生、选择、交叉和变异等环节采用性能较优的算子来实现,实验结果表明这些策略能有效提高算法在求解矩形件排样问题时的收敛速度和稳定性。此外,本文提出了满足工艺生产切割要求的多条带策略并通过实验验证了该策略在板材利用率、排样效果、稳定性及时间成本等方面均优于分层策略,可有效提高工业生产中切割机的裁剪效率。综上所述,本文提出的多条带策略结合自适应遗传算法解决了矩形件排样问题,是一种在工业生产中切实有效地提高板材利用率的方法。将本文提出的多条带策略用于求解二维不规则零件排样问题将是今后的研究方向。

(下转第317页)

本检测技术,该方法在自然场景和人工场景中均可使用。所提方法首先使用显著性检测得到准确备选文本区域,然后使用中心分割算法得到精确的图像边缘图,最后将两种方法进行互补融合使用,并加入后处理去噪。实验结果表明,本文所提出的方法有较好的检测效果。

### 参 考 文 献

- [1] Liu Chun-mei, Wang Chun-heng, Dai Ru-wei. Text detection in images based on unsupervised classification of edge-based features [C]//Document Analysis and Recognition, 2005;610-614
- [2] Mariano V Y, Kasturi R. Locating uniform-colored text in video frames [C]//15th International Conference on Pattern Recognition. 2000;539-542
- [3] Cai M, Song J, Lyu M R. A new approach for video text detection [C]//2002 International Conference on Image Processing. 2002;117-120
- [4] Yang Chuan, Zhang Li-he. Saliency Detection via Graph-Based Manifold Ranking[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2013). 2013;3166-3173
- [5] Grady L, Jolly M, Seitz A. Segmentation from a box[C]//IEEE International Conference on Computer Vision. 2011;367-374
- [6] Lempitsky V, Kohli P, Rother C, et al. Image segmentation with a bounding box prior[C]// IEEE International Conference on Computer Vision. 2009;277-284
- [7] Zhou D, Weston J, Gretton A, et al. Ranking on data manifolds [M] // Advances in Neural Information Processing Systems, 2003;169-176

- [8] Ng A, Jordan M, Weiss Y, et al. On spectral clustering: Analysis and an algorithm[C]//Neural Information Processing Systems Foundation. 2002;849-856
- [9] Scholkopf B, Platt J, Shawe-Taylor J, et al. Estimating the support of a high-dimensional distribution[J]. Neural Computation, 2001,13(7):1443-1471
- [10] Achanta R, Smith K, Lucchi A, et al. SLIC superpixels;149300 [R]. EPFL, 2010
- [11] Borji A, Sihite D, Itti L. Salient object detection: A benchmark [C]//European Conference on Computer Vision. 2012;414-429
- [12] Wang H, Oliensis J. Rigid Shape Matching by Segmentation Averaging[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2009, 32(4):619-635
- [13] Boykov Y, Veksler O, Zabih R. Fast Approximate Energy Minimization via Graph Cuts[J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(11):1222-1239
- [14] Lucas S M. ICDAR 2005 text locating competition results [C]// Document Analysis and Recognition, 2005;1-5
- [15] Shivakumara P, Phan T Q. A laplacian approach to multi-oriented text detection in video [J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2010, 33(2):412-419
- [16] Chen D, Odobez J M, Thiran J P. A localization / verification scheme for finding text in images and video frames based on contrast independent features and machine learning [J]. Signal Processing Image Communication, 2004, 19(3):205-217
- [17] Wong E K, Chen M. A New Robust Algorithm for Video Text Extraction[J]. Pattern Recognition, 2003, 36(6):1397-1406

(上接第 278 页)

### 参 考 文 献

- [1] Holland J. Adaptation in Natural and Rificial System [M]. Arbor. Univ. of Michigan Press, 1975;17-24
- [2] Zhou M, Sun S D. Theories and applications of genetic algorithm [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1999;18-24 (in Chinese)  
周明,孙树栋. 遗传算法原理及应用[M]. 北京:国防工业出版社,1999;18-24
- [3] Wang X P, Cao L M. Theories, applications and software implementation[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2001;68-76 (in Chinese)  
王小平,曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现[M]. 西安:西安交通大学出版社,2001;68-76
- [4] Cui Y D. Determine the optimum section length to cut form a rectangular sheet to generate cutting patterns for rectangles of a single size[J]. Computer Engineering, 2004, 30(7):178-180 (in Chinese)  
崔耀东. 长板单一尺寸矩形毛坯定长分割优化排样[J]. 计算机工程, 2004, 30(7):178-180
- [5] Cui Y D, Huang J M, Zhang X Q. Recursive algorithm for unconstrained two-dimensional guillotine cutting problem rectangular pieces[J]. Journal of Computer Aided Design and Graphics, 2006, 18(7):948-951 (in Chinese)  
崔耀东,黄建民,张显全. 矩形毛料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

- [6] Yan X. Research of rectangular three stages strip packing problem for genetic algorithm[D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2009;15-17 (in Chinese)  
严玄. 矩形件三阶段带排样问题的遗传算法的研究[D]. 桂林:广西师范大学, 2009;15-17
- [7] Yao Y. Heuristics for rectangular strip packing problem based on hierarchical search filled strategy[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2014, 47(6):854-858 (in Chinese)  
姚怡. 采用分层搜索填充策略的启发式带排样算法[J]. 武汉大学学报, 2014, 47(6):854-858
- [8] Zhao X F. Genetic algorithm of solving the rectangular pieces strip packing problem[D]. Guilin: Guangxi Normal University, 2008;15-18 (in Chinese)  
赵新芳. 解决矩形件带排样问题的一种遗传算法[D]. 桂林:广西师范大学, 2008;15-18
- [9] Jiang X B, Lv X Q, Liu C C. Improved genetic algorithm for the rectangular pieces packing optimization[J]. Computer Engineering and Application, 2008, 44(22):244-248 (in Chinese)  
蒋兴波,吕肖庆,刘成城. 一种用于矩形排样优化的改进遗传算法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(22):244-248
- [10] Jin J, Su Y. Improved adaptive genetic algorithm[J]. Computer Engineering and Application, 2005, 41(18):64-69 (in Chinese)  
金晶,苏勇. 一种改进的自适应遗传算法[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(18):64-69
- [11] Mennon A, Mehrotra K, Mohan C K, et al. Characterization of a class of sigmoid functions with applications to neural networks [J]. Neural Networks, 1996, 9:819-835