

1-2-2019

Multi-Objective Vulcanization Workshop Scheduling Based on Improved Harmony Search Algorithm

Wang Yan

Engineering Research Center of IoT Technology Applications Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

Longcheng Wu

Engineering Research Center of IoT Technology Applications Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

Zhicheng Ji

Engineering Research Center of IoT Technology Applications Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

Dahu Yan

Engineering Research Center of IoT Technology Applications Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research](#), [Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Multi-Objective Vulcanization Workshop Scheduling Based on Improved Harmony Search Algorithm

Abstract

Abstract: As a key link in tire production process, the scheduling plan of vulcanization process directly affects the efficiency of the whole tire production process. *A discrete encoding method based on vulcanization order - tire number is proposed. An improved harmony search algorithm (IHS) is developed for scheduling the vulcanization workshop with the target of simultaneously minimizing the makespan, die-changing cost and machine idle rate.* Vulcanization sequence and tire number are respectively discretized according to the harmony memory considering probability and pitch adjusting probability. The dynamic fine-tuning value is defined to fine-tune the processing number. Finally, the experimental results show that the proposed algorithm has higher convergence precision than the basic harmony search algorithm and particle swarm optimization algorithm.

Keywords

harmony search algorithm, vulcanization workshop, multi-objective, dynamic fine-tuning, switch time, die-changing cost

Recommended Citation

Wang Yan, Wu Longcheng, Ji Zhicheng, Yan Dahu. Multi-Objective Vulcanization Workshop Scheduling Based on Improved Harmony Search Algorithm[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(1): 139-146.

基于改进和声搜索算法的多目标硫化车间调度

王艳, 吴龙成, 纪志成, 严大虎

(江南大学 物联网技术应用教育部工程研究中心, 无锡 214122)

摘要: 硫化工序作为轮胎生产中的关键环节, 其调度计划制定好坏直接影响整个轮胎生产流程的效率。设计了一种基于硫化顺序—硫化数量的离散编码方式, 并在此基础上提出改进的和声搜索算法(IHS)求解以最小完工时间、最小换模费用和最小机器空闲率为优化目标的硫化车间调度问题。算法根据记忆库取值概率和音调微调概率分别对轮胎硫化顺序和硫化数量进行离散过程操作, 定义动态微调值对加工数量进行微调扰动。实验结果表明该算法比基本和声搜索算法和粒子群算法具有更高的收敛精度。

关键词: 和声搜索算法; 硫化车间; 多目标; 动态微调; 切换时间; 换模费用

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X(2018)01-0139-08

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201801017

Multi-Objective Vulcanization Workshop Scheduling Based on Improved Harmony Search Algorithm

Wang Yan, Wu Longcheng, Ji Zhicheng, Yan Dahu

(Engineering Research Center of IoT Technology Applications Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: As a key link in tire production process, the scheduling plan of vulcanization process directly affects the efficiency of the whole tire production process. A discrete encoding method based on vulcanization order – tire number is proposed. An improved harmony search algorithm (IHS) is developed for scheduling the vulcanization workshop with the target of simultaneously minimizing the makespan, die-changing cost and machine idle rate. Vulcanization sequence and tire number are respectively discretized according to the harmony memory considering probability and pitch adjusting probability. The dynamic fine-tuning value is defined to fine-tune the processing number. Finally, the experimental results show that the proposed algorithm has higher convergence precision than the basic harmony search algorithm and particle swarm optimization algorithm.

Keywords: harmony search algorithm; vulcanization workshop; multi-objective; dynamic fine-tuning; switch time; die-changing cost

引言

轮胎制造行业是一个生产规模较大, 资源和劳

动力密集的行业, 定制良好的生产计划对企业的生产效率和实际收益具有重大的意义。硫化车间是轮胎生产过程中最重要的环节之一, 在这个环节中, 硫化一条轮胎需要花费很长时间, 合理的调度就显得非常重要。单纯依靠人工经验制定调度计划, 已经很难满足企业的各种生产指标。所以, 利用智能优化算法优化车间调度问题来指导生产的方法逐



收稿日期: 2017-01-09 修回日期: 2017-04-07;
基金项目: 国家自然科学基金(61572238), 江苏省杰出青年基金(BK20160001), 江苏省产学研联合创新资金-前瞻性联合研究项目(BY2016022-24);
作者简介: 王艳(1978-), 女, 江苏无锡, 博士, 教授, 研究方向为网络控制优化。

<http://www.china-simulation.com>

渐成为研究热点,不仅能够提高企业生产效率和收益,而且可以节能减排,降低污染和浪费。因此,投入大量精力进行此方面的研究,对企业和国家都具有很现实的意义。在实际生产过程中,交货期越短,生产成本越低,企业的市场竞争力就越强。在硫化车间中更换模具需要较长的切换时间和快速的温模,给模具带来一定的折旧量,这项成本在硫化机维修中占很大的比例。充分利用现有设备,减少机器空闲率也可以提高生产效率,给企业带来更大效益。所以本文主要针对最小完工时间、最小换模费用和最小机器空闲率三个优化目标对硫化车间调度问题进行优化。

和声搜索(Harmony search, HS)算法^[1-4]是由 Geem Z W 等提出的一种智能优化算法。它模拟音乐师即兴创作最终达到一个美妙和声的过程,将求解最优化问题的解向量比作乐器的音调,目标函数值类比于对音乐创作的评价。通过不断调整,使乐器整体音调达到一个和谐的状态来寻找问题的最优解。由于其操作简单,和声搜索算法被应用到很多领域中,如0-1背包问题^[5],配电网重构问题^[6-7]等。本文首次将和声搜索算法运用于多目标硫化车间调度优化问题中。

基本和声搜索算法适用于求解连续优化问题,现在也有一些文章中应用到了离散的和声搜索算法^[8-9]。为了降低编码和解码复杂度,便于离散化操作,提高算法求解硫化车间调度问题的效率,本文设计了一种基于硫化顺序—硫化数量的编码方式。并在此基础上提出一种求解多目标硫化车间调度问题的离散和声搜索算法。算法针对硫化轮胎顺序和硫化轮胎数量分别进行离散过程操作。在保证各种型号轮胎总数量不变的前提下对硫化机上轮胎硫化数量进行动态微调。

1 多目标硫化车间优化调度模型

1.1 模型描述

根据轮胎企业生产实际情况,对硫化车间多目

标优化调度模型进行如下描述:

硫化车间有 m 台硫化机,生产订单中待硫化的轮胎型号有 n 种,每种型号的轮胎数量为 $N_j(j=1,2,\dots,n)$,且每台硫化机均可硫化这 n 种型号的轮胎。由于每台硫化机的硫化能力不完全相同,所以每台硫化机对不同型号的轮胎硫化时间也不完全相同。每台硫化机上同一时刻只能硫化一条轮胎,而且该轮胎只能在一台硫化机上完成硫化工作。每台硫化机上硫化不同型号轮胎进行切换时存在相应的切换时间和换模费用,切换时间和换模费用取决于相邻两种轮胎的型号以及所在硫化机的型号。

已知条件为硫化车间硫化机数量、各种型号轮胎所需数量、各型号轮胎在不同硫化机上硫化时间、硫化机上不同型号轮胎之间的换模时间以及换模费用。在实际生产过程中,最短完工时间是硫化车间调度优化最重要的目标之一。然而机器在硫化不同型号轮胎进行更换模具时机器处于闲置状态,更换模后需要快速温模,本身就会影响模具的使用寿命,带来一定的折旧量。所以本文中定义硫化车间调度的优化目标为:最小完工时间,最小换模费用和最小机器空闲率3个优化目标。3个优化目标的数学表达式如式(1)~(3)所示。

最小完工时间:

$$f_1(x) = \min(\max(TE_j)) \quad (1)$$

最小换模费用:

$$f_2(x) = \min(\sum_{j \in J} M_j) \quad (2)$$

最小机器空闲率:

$$f_3(x) = \min(\sum_{j \in J} \tau_j) \quad (3)$$

采用加权和法对三个优化目标进行集成优化,如式(4)所示:

$$f(x) = \min\{\sum_{i=1}^3 \lambda_i f_i(x)\} \quad (4)$$

其中, λ_i 表示第 i 个目标的相对重要程度。

约束条件:

$$TE_j = \sum T_{j,p1,p2} \times H_{j,p1,p2} + \sum_{p=1}^{B_j} B_{j,p} \times T_{j,p} \quad (5)$$

$$M_j = \sum (H_{j,p1,p2} \times O_{j,p1,p2}) \quad (6)$$

$$\tau_j = \sum (H_{j,p1,p2} \times T_{j,p1,p2}) \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^{B_j} B_{j,p} = A_p \quad (8)$$

$$TS_{j,p} = TH_{j,p1,p2} + TC_{j,p1} \quad (9)$$

$$TC_{j,p} = TS_{j,p} + B_{j,p} \times T_{j,p} \quad (10)$$

$$p \in P\{1,2,\dots,B_j\}, B_{j,p} \geq 0, A_p > 0, TS_{j,p} \geq TC_{j,p1}, TC_{j,p} > 0 \quad (11)$$

式中: TE_j 表示第 j 台机器上的完工时间; M_j 表示第 j 台硫化机上所产生的换模费用; τ_j 表示硫化机 j 上由于硫化轮胎型号切换而导致的机器停止时间; $p \in P$; $H_{j,p1,p2}$ 表示第 j 台硫化机轮胎型号从 p_1 切换到 p_2 的换模次数; $O_{j,p1,p2}$ 表示在第 j 台硫化机上硫化轮胎的型号从 p_1 切换到 p_2 所产生的换模费用; $J = \{1,2,\dots,m\}$ 表示硫化机集合; $P = \{1,2,\dots,n\}$ 表示待硫化轮胎集合; $T_{j,p}$ 为单个 p 型号轮胎在硫化机 j 上硫化所需时间; $B_{j,p}$ 表示 p 型号轮胎在硫化机 j 上硫化的数量; A_p 表示订单中 p 型号轮胎的数量; B_j 为在硫化机 j 上硫化的轮胎类型数; $TS_{j,p}$ 为 p 型号轮胎在硫化机 j 上开始硫化的时间; $TC_{j,p}$ 为 p 型号轮胎在硫化机 j 上的结束时间; $TH_{j,p1,p2}$ 为在硫化机 j 上从 p_1 型号切换到 p_2 型号所需的换模时间。

1.2 硫化顺序—硫化数量编码

针对硫化车间多目标优化调度求解问题, 本文提出了一种基于轮胎型号—加工数量的编码方式。每个和声由两部分组成: 第一行为各机器上不同型号轮胎加工顺序, 第二行为对应的各型号轮胎加工数量。这种编码方式更简洁, 便于离散化操作, 并在此编码基础上能够更大程度上加快算法的收敛。

设车间共有 3 台硫化机, 下达的订单中共有 1, 2, 3 共 3 种型号的轮胎, 且每种型号的轮胎数量分别为 {100, 150, 120}, 则编码的长度为 $9(3 \times 3)$ 。每台机器上 3 种型号轮胎硫化顺序随机排序, 硫化

顺序放在编码策略表的第一行, 第二行为对应轮胎型号在 3 台机器上硫化的数量, 例如第一台机器上硫化轮胎型号顺序为 {3, 1, 2}, 数量分别为 {40, 20, 45}; 第二台机器硫化轮胎型号顺序为 {2, 1, 3}, 数量分别为 {70, 50, 20}; 第三台机器硫化轮胎型号顺序为 {1, 3, 2}, 数量分别为 {30, 60, 35}, 具体编码方式如图 1 所示。

3	1	2	2	1	3	1	3	2
40	20	45	70	50	20	30	60	35

图 1 编码示意图
Fig. 1 Encoding Diagram

在图 1 中, 第一行为各型号轮胎在每台硫化机上进行硫化的顺序, 从左到右每 3 个数据为一台硫化机上的硫化顺序。第二行数据为对应型号轮胎在特定硫化机硫化的数量。在第一行的加工顺序确定之后, 根据订单中每种型号轮胎的总数量, 把各个型号的轮胎随机分配给 3 台硫化机上进行硫化, 但保证 3 台硫化机上相同型号的轮胎数量之和等于订单中该型号轮胎的总数量。

1.3 解码方式

第一行为各型号轮胎在每台硫化机上进行硫化的顺序, 假如订单中有三种轮胎型号, 所以从左到右每三个元素为一台硫化机上的硫化顺序。第二行数据为对应型号轮胎在特定硫化机硫化的数量。例如在图 1 中硫化机 1 首先硫化 40 个型号 3 的轮胎, 再硫化 20 个型号 1 的轮胎, 最后硫化 45 个型号 2 的轮胎。其他机器上的硫化情况同理可知。知道每台机器上硫化各型号轮胎的顺序以及数量以后, 由于每台硫化机硫化每种型号轮胎的时间和硫化过程中换模时间以及换模费用是已知的, 所以就可以求出 3 个优化目标函数值。

2 基本和声搜索算法

和声搜索算法^[1-4]是由 Geem Z W 等人提出的一种智能优化算法。算法模拟音乐师音乐创作最终达到一个美妙和声的过程, 将求解最优化问题的解

向量比作乐器的音调,将目标函数值类比于对音乐创作的评价。基本的和声搜索算法主要用于解决连续问题。

和声搜索算法的过程分为:初始化参数值和声记忆库,产生一个新和声,更新和声记忆库和检查是否达到算法终止条件。算法的参数主要有最大迭代次数 $\max d$ 、和声记忆库大小 HMS 、记忆库取值概率 $HMCR$ 、微调概率 PAR 、微调带宽 bw 。

算法采用随机初始化的方式产生 HMS 个和声 x^1, x^2, \dots, x^{HMS} 放入 HM 中,初始和声产生方式如式(12)所示。

$$x_i = x_i^L + \text{rand}(x_i^U - x_i^L) \quad (12)$$

其中, x_i^U 和 x_i^L 分别表示第 i 个决策变量的最大值和最小值。

然后根据记忆库取值概率 $HMCR$ 、音调微调概率 PAR 通过学习和声记忆库、音调微调和随机音调选择 3 种方式产生一个新和声 $x^{\text{new}} = (x_1^{\text{new}}, x_2^{\text{new}}, \dots, x_N^{\text{new}})$ (N 为决策变量的个数)。如果音调 x_i^{new} ($i=1, 2, \dots, N$) 取自 HM 内,根据音调微调概率 PAR 对其进行微调。学习和声记忆库和音调微调分别如式(13)和(14)所示。

$$x_i^{\text{new}} = \begin{cases} x_i^r, & \text{rand1} < HMCR \\ x_i^L + u(x_i^U - x_i^L), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

$$x_i^{\text{new}} = \begin{cases} x_i^{\text{new}} + bw \times \text{rand2}, & \text{rand2} < PAR \\ x_i^{\text{new}}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

其中, r 表示从 $[1, HMS]$ 中随机取一个整数值; bw 为音调微调带宽; rand1 和 rand2 为 $[0,1]$ 之间均匀分布的随机数。

如果新和声优于 HM 内最差和声,则用新和声替换 HM 内最差和声,如式(15)所示。

$$x^{\text{worst}} = \begin{cases} x^{\text{new}}, & \text{if } f(x^{\text{new}}) < f(x^{\text{worst}}) \\ x^{\text{worst}}, & \text{if } f(x^{\text{new}}) \geq f(x^{\text{worst}}) \end{cases} \quad (15)$$

其中, $f(x^{\text{new}})$ 和 $f(x^{\text{worst}})$ 分别表示新和声 x^{new} 和 HM 内最差和声 x^{worst} 所对应的目标函数值。

3 离散和声搜索算法及其改进

3.1 离散和声搜索算法

离散和声搜索算法具体过程如下:根据记忆库取值概率 $HMCR$ 和音调微调概率 PAR 产生一个新和声。如果音调 x_i^{new} 取自 HM 内部,则需要根据音调微调概率 PAR 对其进行微调。音调 x_i^{new} 取值和微调过程分别如式(16)和(17)所示。

$$x_i^{\text{new}} = \begin{cases} x_i^{\text{new}} \in (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{HMS}), & \text{if } \text{rand1} < HMCR \\ x_i^{\text{new}} \in X_i, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

$$x_i^{\text{new}} = \begin{cases} x_i^{\text{new}} + m, & \text{if } \text{rand1} < PAR \\ x_i^{\text{new}}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

与连续和声搜索算法不同的是,离散和声是是算法的取值是离散的,即 $X_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(K))$, K 为决策变量可能取值的数量; m 为微调值,且 $m \in \{-1, 1\}$ 。

3.2 改进的离散和声搜索算法

3.2.1 改进的离散和声搜索算法框架

在 1.2 和 1.3 节所述的编码基础上,提出了一种改进的离散和声搜索算法来求解多目标硫化车间调度问题,算法的计算步骤如下:

Step1: 初始化和声搜索算法参数值:记忆库大小 HMS 、记忆库取值概率 $HMCR$ 、音调微调概率 PAR 、迭代次数 $\max d$ 。

Step2: 按照基于硫化顺序—硫化数量的编码方式随机生成 HMS 个和声放入和声记忆库中,单个和声形式如图 1。

Step3: 每次迭代过程中,根据和声记忆库取值概率 $HMCR$ 和音调微调概率 PAR 生成 HMS 个新和声,具体过程如 3.2.2 节所述。

Step4: 更新和声记忆库,若产生的新和声优于 HM 内最差和声,用新解替换掉最差和声。

Step5: 判断算法是否达到停止条件,如果迭代次数达到最大迭代次数 $\max d$,终止算法的运行。

3.2.2 新和声生成过程

在 Step3 中, 生成新和声的具体方法如下:

```

令  $x^{new} = HM(k)$ 
if  $hmcr_i < HMCR$ 
    调整硫化轮胎顺序
    if  $hmcr_{i,j} < HMCR$ 
        调整硫化轮胎数量
        if  $par_{i,j} < PAR$ 
            执行微调过程
        end
    end
end
else
    通过随机方式产生新解  $x^{new}$ 
end

```

其中, $HM(k)$ 表示和声库 HM 内第 k 个和声; $hmcr_i$ 、 $hmcr_{i,j}$ 和 $par_{i,j}$ 为 $[0,1]$ 之间的随机数, $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$ 。

调整硫化轮胎顺序、调整硫化轮胎数量和执行微调过程具体如下:

调整硫化轮胎顺序: 第 i 台机器上的各型号轮胎加工顺序从 HM 内取第 $r1$ 个和声第 i 台机器的加工顺序, 如式(18)所示:

$$x^{new}(1,i) = HMCR(1,i,r1) \quad (18)$$

其中, $r1$ 为 $[1, HMS]$ 之间随机整数。

调整硫化轮胎数量: 新解所有机器上加工的第 j 种型号轮胎都取自 HM 内第 $r2$ 个和声中第 j 种型号轮胎加工数量;

微调过程: 定义动态微调值 u 对第 i 台机器上加工第 j 批加工型号的轮胎数量 $x_{i,j}$ 进行微调, 如式(19~21)所示。

$$x_{i,j} = x_{i,j} + u \quad (19)$$

$$x_{i,j} = \begin{cases} x_{i,j} & \text{if } x_{i,j} \text{ 没出界} \\ x_{i,j} - 2u & \text{else} \end{cases} \quad (20)$$

$$u = \begin{cases} r[1,10] & \text{if } \text{rand} < 0.5 \\ -r[1,10] & \text{else} \end{cases} \quad (21)$$

其中, $x_{i,j}$ 没出界即 $x_{i,j}$ 小于零或者大于该型号轮胎总数量。 $r[1, 10]$ 表示 $[1, 10]$ 之间随机整数。

图 2 为新解的产生过程, 对应以上三个执行过

程的描述具体如下:

调整硫化轮胎顺序: 设 $HMCR$ 为 0.6, PAR 为 0.56。例如有两台机器, 三种轮胎型号。因为 $hmcr1=0.4 < HMCR$, 所以 x^{new} 中第一台机器的硫化顺序取自 HM 内第 $r1$ 个和声的第一台机器硫化顺序, 即①中第一行前三个元素 {1,3,2} 被②中第一行前三个元素 {1,2,3} 替换。根据调换后的顺序调换第一台机器上的加工数量, 调换①中第二行 15 和 60 的位置, 结果如③所示, 保证每种型号轮胎总数量不变。

调整硫化轮胎数量: $hmcr_{1,2}=0.25 < HMCR$, $hmcr_{1,3}=0.3 < HMCR$, 所以 x^{new} 中型号 2 和 3 对应的加工数量被 HM 内第 $r1$ 个和声中型号 2 和 3 的加工数量替换, 操作结果如④所示。

执行微调过程: 设 $par_1=0.1 < PAR$, $par_2=0.8 > PAR$, $par_3=0.45 < PAR$, 所以要对加工数量 25 和 29 进行微调扰动。微调值取 $[1,10]$ 之间随机整数, 假设为 2, $\text{rand}=0.2 < 0.5$ 因为 $\text{rand} < 0.5$, 所以微调值取 -2。微调后 $x_{2,1}^{new} = 25 - 2 = 23$, $x_{2,3}^{new} = 29 - 2 = 27$ 。由于要保持每种型号轮胎总数量不变, 所以第二天机器上型号为 1 和 3 的轮胎数量要加 2, 即 $x_{2,5}^{new} = 45 + 2 = 47$, $x_{2,4}^{new} = 36 + 2 = 38$ 。

4 仿真实验和结果分析

为了验证本文中提出的离散和声搜索算法在硫化车间优化调度中应用的有效性, 本文采用 HS 和 PSO^[10-11] 算法进行仿真对比实验。本次实验以某轮胎厂的一个硫化车间为对象, 采用 4 台硫化机, 加工 3 种型号轮胎的算例^[12]进行仿真实验。

为了方便介绍, 4 台硫化机分别用 M1、M2、M3 和 M4 表示。3 种轮胎型号 225/40R17、195/60R14、185/70R13 分别用 J1、J2 和 J3 表示, 订单中对 3 种型号轮胎的需求量分别为 {1 000, 1 500, 1 200}。每台硫化机上硫化单个不同型号轮胎的时间如表 1 所示。4 台硫化机上硫化不同型号轮胎进行切换时的换模时间和换模费用分别如表 2 所示和表 3 所示。优化权重如表 4 所示。

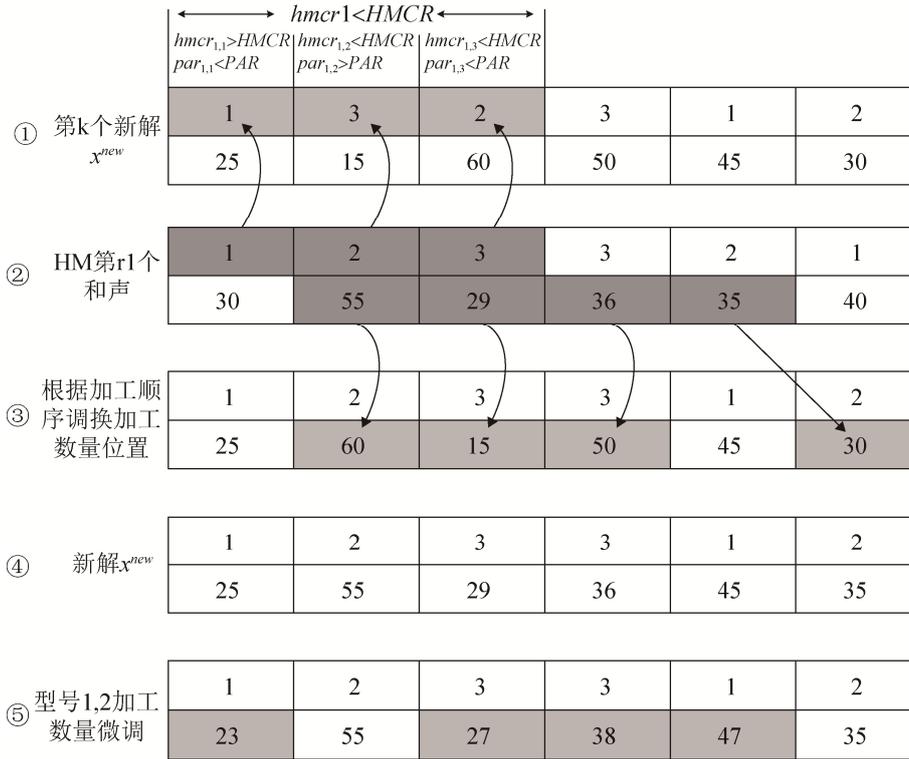


图 2 新解产生过程
Fig. 2 Process of New Solution

表 1 硫化时间
Tab. 1 Vulcanization Time

机器\型号	J1	J2	J3
M1	0.6	0.5	0.4
M2	0.6	0.5	0.4
M3	0.6	0.5	0.4
M4	0.7	0.5	0.4

表 2 换模时间
Tab. 2 Switch Time

机器	型号	J1	J2	J3
M1	J1	0	1.2	1.1
	J2	1.6	0	1
	J3	0.8	1.8	0
M2	J1	0	1.2	1.1
	J2	1.6	0	1
	J3	0.8	1.8	0
M3	J1	0	1.6	0.8
	J2	1.2	0	1
	J3	1.1	1.8	0
M4	J1	0	1.4	1.2
	J2	1.7	0	1.8
	J3	1.1	1.1	0

表 3 换模费用
Tab. 3 Die-changing Cost

机器	型号	J1	J2	J3
M1	J1	0	105	125
	J2	125	0	135
	J3	140	144	0
M2	J1	0	105	125
	J2	125	0	135
	J3	140	144	0
M3	J1	0	105	125
	J2	125	0	135
	J3	140	144	0
M4	J1	0	130	135
	J2	145	0	150
	J3	144	150	0

表 4 优化权重
Tab. 4 Optimize Weight

优化目标	最大完工时间	最小换模费用	最小闲置率
权重	0.5	0.25	0.25

经过多次实验调试所得, 和声搜索算法在参数为 $HMCR=0.6$, $PAR=0.5$ 时效果最佳。所以在每次实验中, 设置和声搜索算法的记忆库取值概率

HMCR 和音调微调概率 PAR 分别为 0.6 和 0.5, 和声库大小以及 PSO 的种群大小都为 100, 最大迭代次数设置为 600。实验环境为 Interl Core i5-4590 CPU, 4GB 内存, 3.30 GHz 处理器, 采用 MATLAB R2010a 编程实现。表 5 中列出了 3 种算法实验 20 次的最大值、最小值、平均值和均方差。

表 5 3 种算法优化的对比结果
Tab. 5 Comparison of Three Algorithms

算法	最大值	最小值	平均值	均方差
PSO	437.775	300	381.563	36.788
HS	505.725	356	416.61	38.675
IHS	351.725	266.55	297.617	26.391

从表 5 中可以看出, IHS 的最大值、最小值、平均值和均方差都明显优于 HS 算法和 PSO 算法, 即 IHS 算法在 20 次实验中得到的最优值要明显比 HS 和 PSO 算法好。并且, 说明 IHS 的优化能力要明显强于两个对比算法。

为了更直观的观察 3 种算法在求解多目标硫化车间调度问题的效果, 本文绘制了 3 种算法在 20 次实验中平均值的进化曲线, 如图 3 所示。

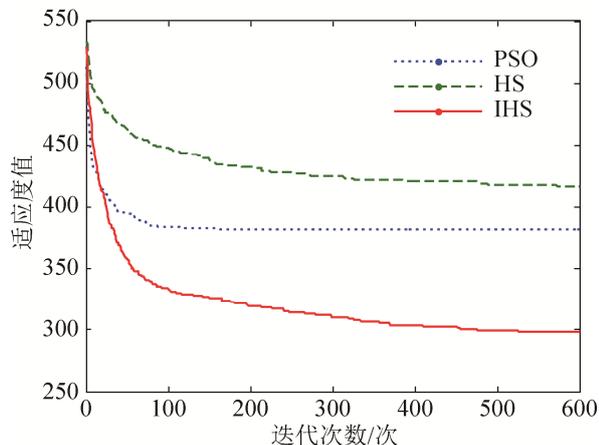


图 3 3 种算法的优化曲线
Fig. 3 Evolution Curve of Three Algorithms

从图 3 中可以看出, 3 种算法在 600 次迭代过程中, 虽然 PSO 的收敛速度比 IHS 快, 但是 IHS 算法的适应度值最小, 收敛精度要明显高于 HS 算法和 PSO 算法。

图 4 为 IHS 算法在 20 次实验中优化效果最好的一次所对应的甘特图。图中斜杠 “/” 前面的数字表示轮胎型号, 后面的数字表示该型号轮胎在机器上安排硫化的数量。比如图中 “3/1 200” 表示机器 1 上安排硫化 1 200 条型号为 3 的轮胎。图中可以看出调度结果尽量减少了不同型号之间的切换, 从而减少了不必要的换模费用和机器空闲率。

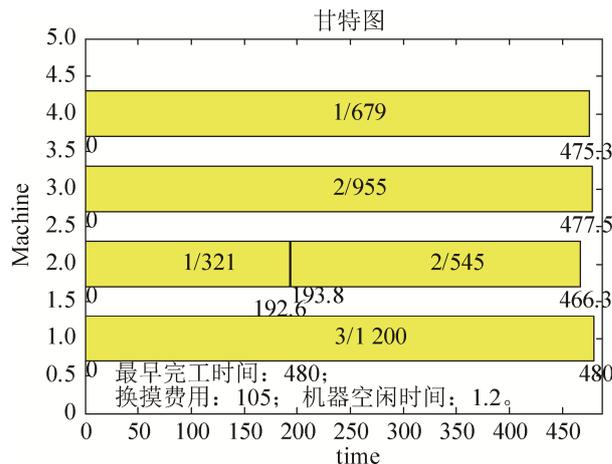


图 4 IHS 算法最优调度结果甘特图
Fig. 4 Gantt Chart for Optimal Scheduling Results of IHS Algorithm

另外本文还将 IHS 与文献[12]中的 PSO、CDPSO 和 CMOBSPSO 三种算法进行对比。并绘制了 4 种算法在求解多目标硫化车间调度问题实验的收敛曲线图, 如图 5 所示。

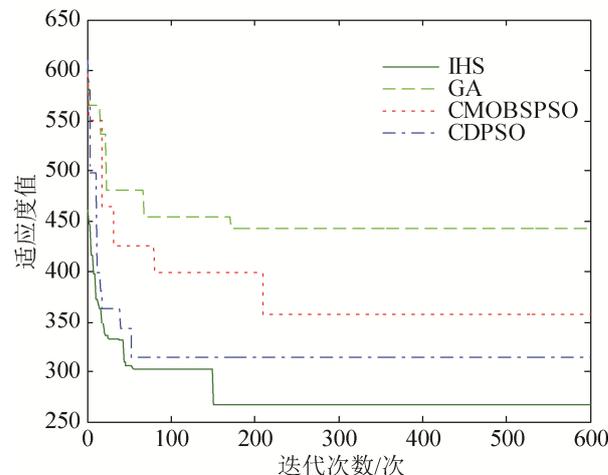


图 5 4 种算法收敛曲线比较
Fig. 5 Comparison of Convergence Curves of Four Algorithms

从图5可看出,除了CDPSO算法收敛速度最快之外,IHS算法的收敛速度比GA和CMOBSPO算法快,并且IHS的收敛精度也要高于其它三种算法。

5 结论

本文根据硫化车间多目标调度问题,设计了一种基于轮胎硫化顺序—硫化数量的离散化编码方式。并在此编码基础上,提出了改进的离散和声搜索算法求解以最短完工时间、最小换模费用、最小机器空闲率为优化目标的多目标硫化车间调度问题。算法采用学习和声记忆库、音调微调和随机音调选择三种方式产生新解。根据记忆库取值概率HMCR判断机器上硫化顺序是否取自HM内,如果取自HM内,进一步判断硫化数量是否取自HM内。定义了动态的微调值根据音调微调概率PAR对硫化数量进行微调扰动处理,使局部搜索能力更强。文章最后将IHS算法、HS算法和PSO算法在4台机器,3种轮胎型号算例上进行仿真。结果表明,文中设计的编解码方式结合改进的和声搜索算法可以在很大程度上提高算法的寻优能力和收敛速度,并且根据优化结果能很好的指导生产运行。

参考文献:

- [1] Chen J, Pan Q K, Li J Q. Harmony search algorithm with dynamic control parameters[J]. Applied Mathematics & Computation(S2152-7393), 2012, 219(2): 592-604.
- [2] Zong W G, Kim J H, Loganathan G V. A New Heuristic Optimization Algorithm: Harmony Search[J]. Simulation Transactions of the Society for Modeling & Simulation International(S0037-5497), 2001, 76(2): 60-68.
- [3] 雍龙泉. 和声搜索算法研究进展[J]. 计算机系统应用, 2011, 20(7): 244-248.
Yong Longquan. Advances in Harmony Search Algorithm[J]. Computer Systems & Applications, 2011, 20(7): 244-248.
- [4] Siddique N, Adeli H. Harmony Search Algorithm and its Variants[J]. International Journal of Pattern Recognition & Artificial Intelligence(S0218-0014), 2015, 30(8): 1-22.
- [5] 李若平, 欧阳海滨, 高立群, 等. 学习型和声搜索算法及其在0-1背包问题中的应用[J]. 控制与决策, 2013, 28(2): 205-210.
Li Ruoping, OuYang Haibin, Gao Liqun, et al. Learned harmony search algorithm and its application to 0-1 knapsack problems[J]. Control and Decision, 2013, 28(2): 205-210.
- [6] 陈春, 汪枫, 刘蓓, 等. 基于基本环矩阵与改进和声搜索算法的配电网重构[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(6): 55-60.
Chen Chun, Wang Feng, Liu Bei, et al. Network Reconfiguration Based on Basic Ring Matrix and Improved Harmony Search Algorithm[J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(6): 55-60.
- [7] 荣德生, 韩淑敏. 配电网重构的自适应和声搜索算法[J]. 中国电力, 2015, 48(4): 131-136.
Rong Dsheng, Han Shumin. Adaptive Harmony Search Algorithm for Optimal Network Reconfiguration[J]. Electric Power, 2015, 48(4): 131-136.
- [8] Gao K Z, Suganthan P N, Pan Q K, et al. Pareto-based grouping discrete harmony search algorithm for multi-objective flexible job shop scheduling[J]. Information Sciences(S0020-0255), 2014, 289(1): 76-90.
- [9] Pan Q K. An effective discrete harmony search algorithm for flexible job shop scheduling problem with fuzzy processing time[J]. International Journal of Production Research(S0020-7543), 2015, 53(19): 5896-5911.
- [10] 胡超, 彭军, 于文涛. 基于PSO算法的医疗大数据任务调度策略[J]. 通信学报, 2014, 35(增1): 1-7.
Hu Chao, Peng Jun, Yu Wentao. PSO based task scheduling for medical big data[J]. Journal on Communications, 2014, 35(S1): 1-7.
- [11] Marini F, Walczak B. Particle swarm optimization (PSO). A tutorial[J]. Chemometrics & Intelligent Laboratory Systems (S0169-7439), 2015, 149(B): 153-165.
- [12] 张亚妮. 多种群协同进化的微粒群优化算法及其在橡胶硫化车间生产调度中的应用[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2009.
Zhang Yani. Coevolution Discrete Particle Swarm Optimization and the Application in the Production Scheduling of Rubber Vulcanization Workshop[D]. Qingdao: Qingdao University of Science and Technology, 2009.