

改进混合蛙跳算法求解考虑运输时间的柔性作业车间调度问题*

鲍 蓓¹, 张洪亮^{1,2}, 丁仁曼¹, 徐公杰¹

(1. 安徽工业大学 管理科学与工程学院;

2. 安徽工业大学 复杂系统多学科管理与控制安徽普通高校重点实验室, 安徽 马鞍山 243002)

摘要:【目的】考虑到工件在机器间的转移,对具有运输时间的柔性作业车间调度问题进行研究。【方法】建立以最小化最大完工时间为目标的数学模型,并设计一种改进的混合蛙跳算法(Improved shuffled frog leaping algorithm, ISFLA)。在该算法中,从全局和局部的角度产生高质量的初始种群,考虑运输时间的贪婪插入解码能够合理地安排工件在机器上的加工顺序。批处理的模因组搜索方法能够充分利用模因组内其他个体信息,扰动策略可以防止算法陷入局部最优。此外,基于关键路径设计两种局部搜索策略以进一步提升解的质量。【结果】通过 21 组不同规模的算例进行测试,测试结果证明了 ISFLA 的有效性。【结论】ISFLA 能够有效解决考虑运输时间的柔性作业车间调度问题。

关键词: 柔性作业车间; 运输时间; 改进混合蛙跳算法; 局部搜索

中图分类号: TP301

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2022)01-0072-07

在制造和生产系统中起重要作用的决策过程被称为生产调度,其中柔性作业车间调度问题(Flexible job shop scheduling problem, FJSP)消除了对机器唯一性的限制,每道工序可以选择多台机器进行处理,提高了生产过程的柔性。此外, FJSP 能够更好地应对动态市场环境的突然变化以及紧急订单到达等突发事件,更加符合实际生产环境。FJSP 广泛存在于半导体制造、纺织制造、汽车装配等行业^[1]。

学者们对以最小化最大完工时间为目标的 FJSP 进行了研究,例如: Driss 等人^[2]设计了一种新的遗传算法; 谢锐强等人^[3]设计了两阶段灰狼算法; 丁舒阳等人^[4]设计了一种改进的粒子群算法; 李帆等人^[5]设计了一种改进的离散蝙蝠算法; Wu 等人^[6]设计了一种混合蚁群算法; 姜天华^[7]设计了一种改进的猫群算法; 石小秋等人^[8]提出了一种自适应变级遗传杂草算法。虽然以上学者设计了不同的算法对 FJSP 进行研究,但忽略了工件在机器间的转移。考虑运输时间尽管提高了 FJSP 的复杂性,但却更加符合实际的生产环境。此外,加工和运输之间存在相互作用的关系,加工时间影响运输任务的开始时间,运输时间的长短会造成机器的等待时间不同。因此,对考虑运输时间的柔性作业车间调度问题(Flexible job shop scheduling problem with transportation time, FJSPT)进行研究具有重要意义。

目前学者们对 FJSPT 也进行了研究,例如: Zhang 等人^[9]以最小化完工时间为目标,采用遗传算法对 FJSPT 进行求解; 对于相同的问题, Zhang 等人^[10]又结合模拟退火算法,设计了一种改进的文化基因算法进行求解; 陈魁等人^[11]设计了一种混合离散粒子群算法对 FJSPT 进行求解。虽然上述算法可以解决 FJSPT,但是算法的参数过多,参数的取值对算法性能具有重要影响。混合蛙跳算法(Shuffled frog leaping algorithm, SFLA)是 Eusuff 等人^[12]于 2003 年提出的一种模拟蛙类觅食的群智能算法,该算法具有概念简单、参数少、计算速度快、全局寻优能力强等特点。虽然已有部分学者将 SFLA 应用到 FJSP 的研究中,但是将它应用于 FJSPT 的研究还较少见。

基于上述背景,本文在 FJSP 的基础上引入运输时间,设计了一种改进的混合蛙跳算法(Improved shuffled frog leaping algorithm, ISFLA),并将它应用到对 FJSPT 的研究中。本文首先建立最小化最大完工时间的数学模型,然后设计 ISFLA 对该问题进行求解,最后通过 5 组 Kacem 算例,1 组实例以及 15 组不同规模的随机算例进行测试,验证了 ISFLA 求解 FJSPT 的有效性。

* 收稿日期: 2021-08-13 修回日期: 2021-10-25 网络出版时间: 2022-02-09 17:03

资助项目: 国家自然科学基金(No. 71772002); 安徽省自然科学基金(No. 2008085QG335); 安徽省普通高校重点实验室开放基金(No. CS2021-ZD01); 安徽省社会科学创新发展研究课题(No. 2018CX033)

第一作者简介: 鲍蓓,女,研究方向为生产调度优化; 通信作者: 张洪亮,男,副教授,博士, E-mail: hlzhang@ahut.edu.cn

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20220209.1420.024.html>

1 问题描述及数学模型

1.1 符号定义

本文用到的符号如表 1 所示。

表 1 符号及含义
Tab. 1 Symbols and meanings

符号	含义	符号	含义
i, g	工件索引	s_{ijk}	O_{ij} 在机器 k 上的加工开始时间
j, h	工序索引	c_{ijk}, c_{ghk}	O_{ij}, O_{gh} 在机器 k 上的加工结束时间
l, k	机器索引	C_i	工件 i 的完工时间
n	工件数量	t_{lk}	工件从机器 l 到机器 k 的运输时间
m	机器数量	L	一个足够大的正数
n_i	工件 i 的工序数量	x_{ijk}	O_{ij} 在机器 k 上加工时为 1, 否则为 0
O_{ij}	工件 i 的第 j 道工序	y_{ijghk}	机器 k 加工完 O_{gh} 后加工 O_{ij} 为 1, 否则为 0
p_{ijk}	O_{ij} 在机器 k 上的加工时长	α_{ilk}	工件 i 从机器 l 运送到机器 k

1.2 问题描述

FJSPT 可以描述为: 车间有 n 个工件和 m 台机器, 每个工件有 n_i 道工序, 每道工序可以在多台机器上加工且加工时间已知。工件需要通过运输工具在机器之间运输, 假设运输工具数量无限且机器之间的运输时间已知。优化目标为最小化最大完工时间。假设如下: 1) 所有机器和工件零时刻可用; 2) 每台机器同一时刻只能加工一道工序; 3) 每道工序不可同时在多台机器上加工; 4) 不考虑中断情况; 5) 同一工件的工序之间存在加工顺序约束。

1.3 数学模型

本文以最小化完工时间为目标, 基于以上的描述, 建立的数学模型如下所示:

$$\min C_{\max} = \min(\max(C_i)), \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n_i} \sum_{k=1}^m y_{ijghk} \leq 1, \quad (3)$$

$$\sum_{g=1}^n \sum_{h=1}^{n_g} \sum_{k=1}^m y_{ijghk} \leq 1, \quad (4)$$

$$c_{ijk} = s_{ijk} + p_{ijk} x_{ijk}, \quad (5)$$

$$C_i \geq c_{ijk}, \quad (6)$$

$$s_{ijk} \geq c_{ghk} + t_{lk} \alpha_{ilk} + L(1 - y_{ijghk}). \quad (7)$$

其中: (1) 式是目标函数; (2) 式是工序选择机器的约束; (3) 式和 (4) 式表示每道工序的紧后或紧前工序最多只有 1 道; (5) 式是工序开始加工时间与完工时间的关系约束; (6) 式表示工件的完工时间大于等于任意一道工序的完工时间; (7) 式确保机器不能同时加工多道工序。

2 ISFLA

传统的 SFLA 在进行个体更新时, 只利用了模因组内的最优个体、最差个体以及全局最优个体, 而忽视了模因组内的其他个体, 经过不断的迭代之后, 模因组将会趋向于一个较小的空间, 从而使算法的多样性下降。其次, 根据 SFLA 的跳跃规则生成新解容易产生序列重复的现象, 将导致非法解的产生, 当工件的数目较大时, 很难保证产生合法解。针对上述模因组信息利用不充分的缺点, 本文引入了模因组内其他个体信息并且提出更新个体的新规则; 为了避免算法陷入局部最优, 设计了对模因组内最优个体的扰动策略; 此外, 基于关键路径, 设计了局部搜索策略去进一步提高解的质量。

2.1 编码及解码

本文采用双层编码方式,以表 2 数据为例,一个编码的示例如图 1 所示。上层是基于工序的编码(OS),下层是基于机器的编码(MA)。编码长度为所有工件的工序总数,OS 的值为工件号,相同工件号出现的次数表示该工件的工序数量,MA 按照工件顺序进行编码,MA 的值为每道工序在可选机器集的所选机器的索引。

表 2 一个 4×4 FJSP 示例
Tab. 2 An example of 4×4 FJSP

工件	工序	M_1	M_2	M_3	M_4	工件	工序	M_1	M_2	M_3	M_4
J_1	O_{11}	2		3	2	J_3	O_{31}		5		4
	O_{12}		4	3			O_{32}	3	5		
J_2	O_{21}	4	3		5		O_{33}			4	3
	O_{22}	3			5	J_4	O_{41}	5	3	3	4
	O_{23}	4		3	3		O_{42}	3		4	3

基于以上的编码方式,并考虑运输时间对工件开始加工时间的影响,本文设计了考虑运输时间的贪婪插入解码方法将解转换为可行的调度方案(算法 1),它的伪代码如表 3 所示。

2.2 种群初始化

高质量的初始解能够提高算法的性能,本文通过随机的方式产生工序层编码,对于机器层的编码器,按照文献[13]采用全局、局部和随机选择共 3 种策略,它们的比例为该文献设定的 $6:3:1$ 。

2.3 模因组搜索

鉴于 SFLA 在解决离散问题时存在易产生非法解、不能充分利用模因组内其他个体信息等缺点,本文提出两个改进策略。

2.3.1 策略 1 以组内次优个体作为优化对象,进行批处理交叉操作,增强局部搜索能力,具体步骤如下。

步骤 1:选取模因组内最优个体作为父代 1;

步骤 2:依次选取模因组内的剩余个体作为父代 2;

步骤 3:父代 1 和父代 2 通过 IPOX 和 MPX 交叉操作^[14],产生子代,选取较优子代替换父代 2;

步骤 4:若个体未得到改善,则选择全局最优个体作为父代 1,重复交叉操作;若个体仍未得到改善,则随机产生一个个体作为父代 2。

2.3.2 策略 2 以模因组内中最优个体为对象,进行扰动操作,避免算法陷入局部最优,具体步骤如下。

步骤 1:在工序层随机选择两个不同的位置,将两位置之间的编码进行翻转;

步骤 2:在机器层随机选择两个不同的位置,随机选择其他可用的机器索引替换着两个位置的编码。

2.4 局部搜索

为进一步提升解的质量,基于关键路径,本文设计了两种局部搜索策略用于全局最优解。局部搜索策略伪代码如算法 2(表 4)和算法 3(表 5)所示。

2.5 ISFLA 整体步骤

ISFLA 整体步骤如下:1) 初始化参数,产生初始种群;2) 解码,根据适应度值对种群进行划分;3) 模因组搜索;4) 局部搜索;5) 种群重构;6) 判断终止条件是否满足,满足则输出最优解,否则转到步骤 2)。

3 实验分析

本文所有算法都在 Matlab 2016b 软件中进行编程,并在配置为 Intel Core i7 CPU (3.5 GHz)以及 8 GB RAM 的 PC 上运行。通过对比实验,得到 ISFLA 的参数设置如下:种群大小 $N_{ind}=100$ 、模因组数量 $S=5$ 。

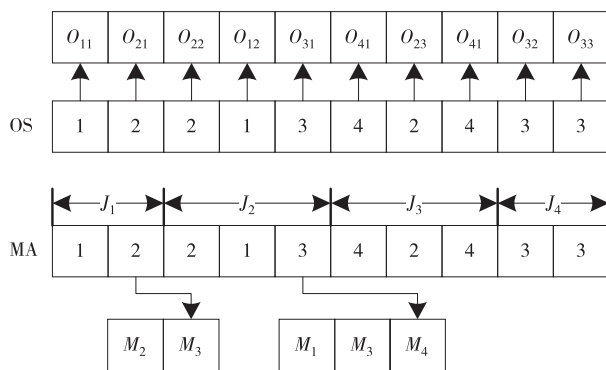


图 1 编码示例

Fig. 1 An example of encoding

3.1 实验 1

为了验证 ISFLA 的有效性,本文首先采用 Kacem 数据集^[15]对 ISFLA 进行测试,并与文献[4,8,10,16]的结果比对,结果如表 6 所示。从表 6 的结果可以看出 ISFLA 对这 5 组算例的求解结果均能达到最优值,且明显优于改进前的 SFLA。对算例 8×8 和 10×7 的求解结果优于文献[4],对算例 15×10 的求解结果优于文献[16]。表 6 的测试结果表明了 ISFLA 的有效性。以算例 8×8 为例,得到的调度甘特图如图 2 所示。

此外,为了验证 ISFLA 求解实际算例的有效性,选择文献[9-10]中的实际算例 8×5 进行测试,并与文献[9]设计的 IGA 和文献[10]设计 IMA 的求解结果进行对比,各自最优解的甘特图如图 3~5 所示。结果显示,本文设计的 ISFLA 得到的最优解的值为 27,优于文献[9-10]求解得到的 32 和 28.5。相对于文献[9-10]的生产调度安排,ISFLA 得到的调度方案使生产效率分别提高了 15.6% 和 5.3%,表明 ISFLA 能够有效求解 FJSPT 实例问题。

从图 3~5 的调度方案甘特图可以看出,在 ISFLA 得到的调度方案中,每道工序被安排到在合适的机器进行加工,并且为每台机器上的工件制定了合理的加工顺序。此外,可以看出 ISFLA 得到的调度方案中机器的空闲时间明显少于文献[9-10]得到的调度方案,说明 ISFLA 能够提高使机器得到有效利用,进而提高生产效率。

表 3 考虑运输时间的贪婪插入解码方法(算法 1)

Tab. 3 Greedy insertion decoding method considering transport time (Algorithm 1)

行号	伪代码
1	$NOM_k = \emptyset (k=1,2,\cdots,m)$
2	For $h=1$ to TP_num
3	$O_{ij} = OS(h)$
4	获取 O_{ij} 的加工机器 k , p_{ijk} 和运输到达机器 k 的时间 ta
5	If $NOM_k = \emptyset$
6	$s_{ijk} = ta; c_{ijk} = s_{ijk} + p_{ijk}$
7	Else
8	判断机器 k 上是否存在满足 O_{ij} 的加工的空闲时段 ID_k
9	If $ID_k = \emptyset$
10	$s_{ijk} = TM_k; c_{ijk} = s_{ijk} + p_{ijk}$
11	Else
12	$s_{ijk} = \max\{ts, ta\}; c_{ijk} = s_{ijk} + p_{ijk}$
13	End if
14	End if
15	End for

注: NOM_k :机器 k 上已经安排的工序数量; TP_num :工序总数; TM_k :机器 k 的最大完工时间; ts : ID_k 的开始时间

表 4 局部搜索策略 1 (算法 2)

Tab. 4 Local search strategy 1 (Algorithm 2)

行号	伪代码
1	For $p=1$:length(CP)
2	获取 CP_P 上加工时间最长的工序 O_{ij} 和对应的加工机器 k
3	将 O_{ij} 从安排到可选机器集中加工时间最短的机器 l 加工
4	If $k \neq l$
5	选择加工时间次长的工序 O_{gh} 执行步骤 3
6	End if
7	End for

注: CP 为关键路径集合,下同

表 5 局部搜索策略 2 (算法 3)

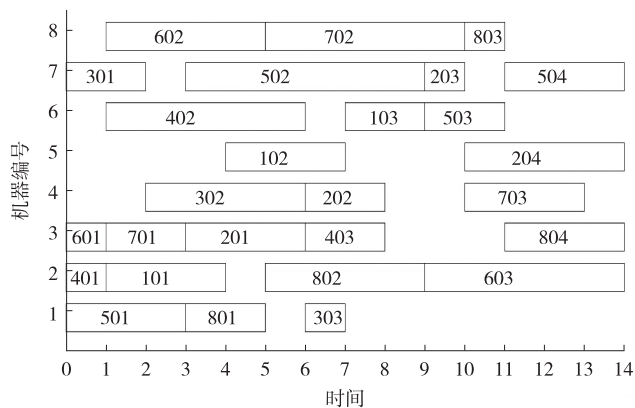
Tab. 5 Local search strategy 2 (Algorithm 3)

行号	伪代码
1	For $p=1$:length(CP)
2	获取 CP_P 上加工时间最长的工序 O_{ij} 和对应的加工机器 k
3	将 O_{ij} 从安排到运输时间短的可选机器 l 加工
4	If $k \neq l$
5	选择加工时间次长的工序 O_{gh} 执行步骤 3
6	End if
7	End for

表 6 Kacem 算例测试结果

Tab. 6 Test results of Kacem example

算例	文献[4]	文献[8]	文献[10]	文献[16]	SFLA	ISFLA	算例	文献[4]	文献[8]	文献[10]	文献[16]	SFLA	ISFLA
4×5	11	11	11	11	13	11	10×10	7	7	7	7	10	7
8×8	15	14	14	14	16	14	15×10	11	11	11	13	15	11
10×7	12	11	11	11	14	11							



注:图中时间表示某工序中加工时间的相对长短,无特定单位,下同

图 2 算例 8×8 甘特图

Fig. 2 The Gantt diagram of instance 8×8

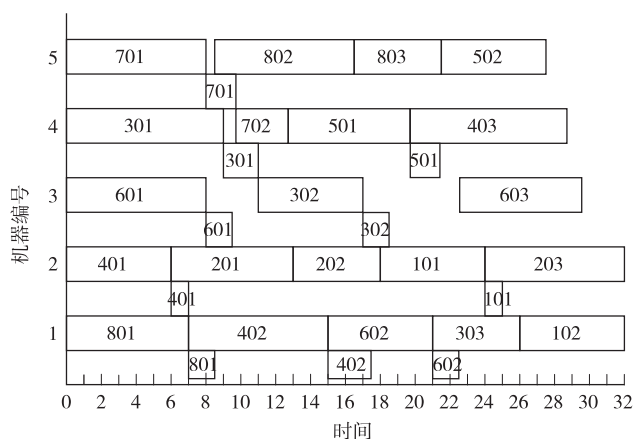


图 3 文献[9]得到的调度方案甘特图

Fig. 3 The Gantt diagram gained from literature [9]

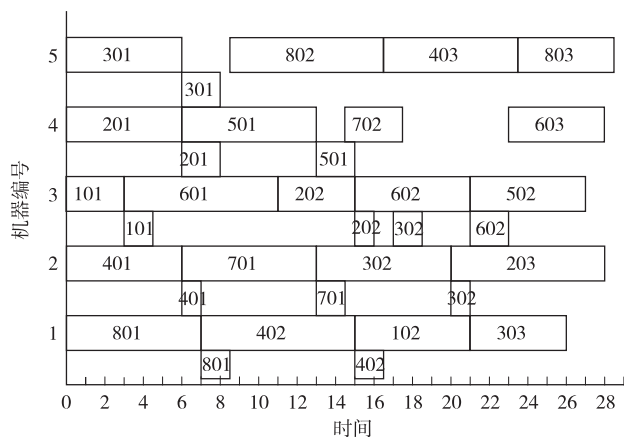


图 4 文献[10]得到的调度方案甘特图

Fig. 4 The Gantt diagram gained from literature [10]

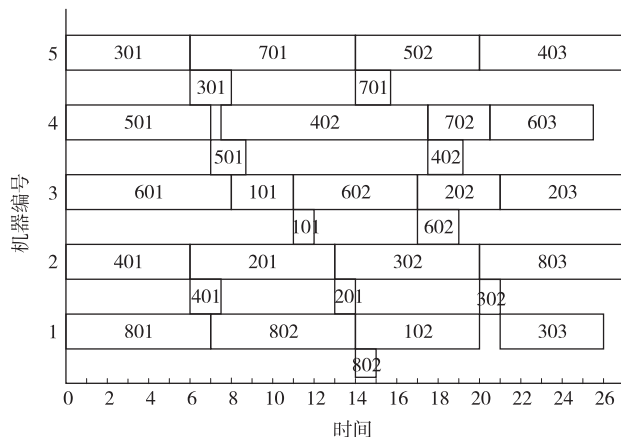


图 5 ISFLA 得到的调度方案甘特图

Fig. 5 The Gantt diagram gained from ISFLA

3.2 实验 2

为进一步验证 ISFLA 的有效性,本文设计了不同规模带有运输时间的 FJSP 算例对 ISFLA 进行测试,并将所得结果与文献[9]设计的 IGA、文献[10]设计的 IMA、标准 SFLA、采用随机初始化的 SFLA1 以及不采用局部搜索策略的 ISFLA2 的测试结果进行对比。测试算例的数据产生方式如下:首先以 Brandimarte 数据^[17]为基础,产生工件的工序数量、机器数量以及每道工序在各台机器上的加工时间,然后采用随机的方式产生机器之间的运输时间,运输时间的范围为(1,5)。每种算法在每个算例下运行 10 次,测试结果如表 7 所示。

通过表 7 的实验结果可以看出,本文设计的 ISFLA 在 15 组不同规模 FJSPT 问题的求解结果均小于另外 5 种对比算法的求解结果,说明 ISFLA 的性能明显优于这些算法,在解决考虑运输时间的 FJSP 时 ISFLA 的寻优能力更强。此外,表 7 显示 ISFLA 的结果优于 SFLA1 和 SFLA2 的结果,并且 SFLA1 和 SFLA2 的结果由于 SFLA 的结果,这表明了本文种群初始化方法和局部搜索策略的有效性。

表 7 随机算例测试结果

Tab. 7 Test results of random instances

算例	IMA	IGA	SFLA	SFLA1	SFLA2	ISFLA	算例	IMA	IGA	SFLA	SFLA1	SFLA2	ISFLA
Mk01	55.8	61.7	68.4	66.5	63.1	46.3	Mk09	478.3	495.4	519.2	514.7	503.2	396.9
Mk02	50.0	53.4	58.2	56.3	54.7	41.8	Mk10	404.4	424.5	446.5	438.1	429.8	316.7
Mk03	259.2	270.8	285.9	280.6	273.2	210.3	Mk11	923.1	958.3	974.1	969.5	963.8	768.8
Mk04	97.5	108.3	127.0	123.8	116.5	83.5	Mk12	689.1	716.1	744.5	737.7	724.6	561.2
Mk05	267.4	282.9	305.3	298.7	288.4	220.4	Mk13	608.2	629.3	645.4	640.8	634.9	487.2
Mk06	145.4	152.7	168.5	162.2	158.6	119.2	Mk14	726.4	752.7	772.3	766.2	759.4	579.5
Mk07	174.2	186.0	194.8	192.5	187.3	145.7	Mk15	624.2	653.6	686.7	679.5	662.3	523.1
Mk08	310.4	320.9	335.8	330.4	322.5	256.5							

4 结束语

考虑到实际的生产加工环境,本文对 FJSPT 进行了研究。为了有效解决该问题,建立了最小化最大完工时间的数学模型,然后设计了 ISFLA。在该算法中,从全局和局部的角度为每道工序选择合适的加工机器,进而产生质量较高的初始种群。为了使种群的每个解转换为可行的调度方案,设计了考虑运输时间的贪婪插入解码方法,该方法能够合理的安排工件在机器上的加工顺序,减少机器的空闲时间,进而提高机器的有效利用率。针对传统 SFLA 在解决离散问题时易产生非法解、不能充分利用模因组内其他个体信息等缺点,设计了批处理的模因组搜索方法,并且采取一定的扰动策略防止算法陷入局部最优。此外,基于关键路径,设计的两种局部搜索策略进一步提升了解的质量。最后,通过 5 组 Kacem 算例、1 组实例以及本文设计的不同规模的 15 组算例对 ISFLA 进行测试,并与其他算法进行对比。测试结果证明了本文设计的 ISFLA 的有效性。在未来的研究中,将考虑更多实际因素如机器故障、紧急插件等进行研究;对于优化目标,将增加能耗相关的目标来进行研究。

参考文献:

[1] GAO K Z,CAO Z G,ZHANG L,et al. A review on swarm intelligence and evolutionary algorithms for solving flexible job shop scheduling problems[J]. IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica,2019,6(4):904-916.

[2] DRISS I,MOUSS K N,LAGGOUN A. A new genetic algorithm for flexible job-shop scheduling problems[J]. Journal of Mechanical Science & Technology,2015,29(3):1273-1281.

[3] 谢锐强,张惠珍. 求解柔性作业车间调度问题的两段式狼群算法[J]. 计算机工程与应用,2021,57(7):251-256.

XIE R Q,ZHANG H Z. Two-vector wolf pack algorithm for flexible job shop scheduling problem[J]. Computer Engineering and Applications,2021,57(7):251-256.

[4] 丁舒阳,黎冰,侍洪波. 基于改进的离散 PSO 算法的 FJSP 的研究[J]. 计算机科学,2018,45(4):233-239.

DING S Y,LI B,SHI H B. Study on flexible job-shop scheduling problem based on improved discrete particle swarm optimization algorithm[J]. Computer Science,2018,45(4):233-239.

[5] 李帆,高东,许欣,等. 改进蝙蝠算法柔性作业车间调度问题研究[J]. 计算机工程与应用,2018,54(21):265-270.

LI F,GAO D,XU X,et al. Research of improved bat algorithm for flexible job-shop scheduling problem[J]. Computer Engineering and Applications,2018,54(21):265-270.

[6] WU J,WU G D,WANG J J. Flexible job-shop scheduling problem based on hybrid ACO algorithm[J]. International Journal of Simulation Modelling,2017,16(3):497-505.

[7] 姜天华. 猫群优化算法求解柔性作业车间调度问题[J]. 计算机工程与应用,2018,54(23):259-263.

JIANG T H. Cat swarm optimization for solving flexible job shop scheduling problem[J]. Computer Engineering and Applications,2018,54(23):259-263.

[8] 石小秋,李炎炎,邓丁山,等. 基于自适应变级遗传杂草算法的 FJSP 研究[J]. 机械工程学报,2019,55(6):223-232.

SHI X Q,LI Y Y,DENG G S,et al. Self-adaptive multistage GA-IWO for solving flexible job shop scheduling problem[J].

- Journal of Mechanical Engineering, 2019, 55(6): 223-232.
- [9] ZHANG G H, SUN J H, LIU X, et al. Solving flexible job shop scheduling problems with transportation time based on improved genetic algorithm[J]. Mathematical Biosciences and Engineering, 2019, 16(3): 1334-1347.
- [10] ZHANG G H, SUN J H, LU X X, et al. An improved memetic algorithm for the flexible job shop scheduling problem with transportation times[J]. Measurement and Control, 2020, 53(7/8): 1518-1528.
- [11] 陈魁, 毕利. 改进粒子群算法在考虑运输时间下的 FJSP 研究[J]. 系统仿真学报, 2021, 33(4): 845-853.
CHEN K, BI L. Research on FJSP of improved particle swarm optimization algorithm considering transportation time[J]. Journal of System Simulation, 2021, 33(4): 845-853.
- [12] EUSUFF M M, LANSEY K E. Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm[J]. Journal of Water Resources Planning and Management, 2003, 129(3): 210-225.
- [13] ZHANG G H, GAO L, SHI Y. An effective genetic algorithm for the flexible job-shop scheduling problem[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(4): 3563-3573.
- [14] 张守京, 王彦亭. 基于改进 NSGA2 的柔性车间多目标智能调度问题研究[J]. 现代制造工程, 2020(9): 23-31.
ZHANG S J, WANG Y T. Research on multi-objective intelligent scheduling of flexible job shop based on improved NSGA2 [J]. Modern Manufacturing Engineering, 2020(9): 23-31.
- [15] KACEM I, HAMMADI S, BORNE P. Approach by localization and multiobjective evolutionary optimization for flexible job-shop scheduling problems[J]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 2002, 32(1): 1-13.
- [16] 姜天华. 混合灰狼优化算法求解柔性作业车间调度问题[J]. 控制与决策, 2018, 33(3): 503-508.
JIANG T H. Flexible job shop scheduling problem with hybrid grey wolf optimization algorithm[J]. Control and Decision, 2018, 33(3): 503-508.
- [17] BRANDIMARTE P. Routing and scheduling in a flexible job shop by tabu search[J]. Annals of Operations Research, 1993, 41(3): 157-183.

Operations Research and Cybernetics

Improved Shuffled Frog Leaping Algorithm for the Flexible Job Shop Scheduling Problem with Transportation Time

BAO Qiang¹, ZHANG Hongliang^{1,2}, DING Renman¹, XU Gongjie¹

(1. School of Management Science and Engineering, Anhui University of Technology;

2. Key Laboratory of Multidisciplinary Management and Control of Complex Systems of Anhui Higher Education Institutes, Anhui University of Technology, Ma'anshan Anhui 243002, China)

Abstract: [Purposes] Considering the transfer of jobs between machines, the flexible job shop scheduling problem with transportation time is studied. [Methods] A mathematical model with the goal of minimizing makespan is established, and an improved shuffled frog leaping algorithm (ISFLA) is designed. In the algorithm, a high-quality initial population is generated from the global and local perspectives, and the greedy insertion decoding with transportation time can reasonably arrange the processing sequence of the jobs on each machine. The batch-processing memetic group search method can make full use of other individual information, and the perturbation strategies can prevent the algorithm from falling into a local optimal. In addition, two local search strategies based on the critical path are designed to further improve the quality of the solutions. [Findings] 21 sets of instances of different scales are tested, and the test results prove the effectiveness of the proposed ISFLA. [Conclusions] The proposed ISFLA can solve the FJSPT effectively.

Keywords: flexible job shop; transportation time; improved shuffled frog leaping algorithm; local search

(责任编辑 方 兴)