

智能RGV的动态调度策略

Research on Dynamic Scheduling Strategy of Intelligent RGV

卯龙¹ 肖曼¹ 陈秋怡¹ 胡淳钧¹ 赵艺萱² 刘桐灏¹ 王占飞³

Long Mao¹ Man Xiao¹ Qiuyi Chen¹ Chunjun Hu¹ Yixuan Zhao² Tonghao Liu² Zhanfei Wang³

1.重庆理工大学国际学院,中国·重庆 401135

2.重庆文理学院,中国·重庆 402160

3.重庆理工大学车辆工程学院,中国·重庆 401135

1. International College, Chongqing University of Technology, Chongqing, 401135, China

2. Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing, 402160, China

3. Vehicle Engineering Institute, Chongqing University of Technology, Chongqing, 401135, China

【摘要】智能RGV的动态调度问题是影响智能加工系统生产效率的重要因素,有效的动态调度方法与优化技术的研究和应用,对于制造企业提高生产效率有着重要作用。文通过建立合理的RGV动态调度模型,对智能RGV的动态调度问题进行了分析。针对任务一,首先从机器不出故障的情况出发,对一道工序与两道工序的加工情况采用0-1整数规划进行表述。然后,以最后一块物料开始加工的时间最短为目标函数,分别建立了基于0-1整数规划的单工序情况RGV静态调度模型与双工序情况RGV静态调度模型,我们采用粒子群算法对模型进行求解,通过Matlab编程得到一道工序的加工情况下三组在8小时内所加工的最大物料数分别为384、361和392;两道工序的加工情况下三组在8小时内所加工的最大物料数分别为251、240和268。在建立了RGV静态调度模型之后,考虑机器故障的情况。我们将机器出现故障的情况进行等价,将CNC出现机器故障的情况看作CNC持续工作的状态,因此,基于原有的RGV静态调度模型,对原有的模型增加了约束条件,从而分别建立起了单工序情况RGV动态调度模型与双工序情况RGV动态调度模型,得到的结果见支撑材料。针对任务二,基于问题一所建立的单工序情况与双工序情况的RGV动态调度模型,将表1中系统作业参数的3组数据代入到模型中,检验得到了模型的实用性和算法的有效性,得到的RGV的调度策略见“5.4问题二的求解”,其作业效率为92.37%。本文中我们所建立的模型从静态模型出发,考虑从静态调度问题到动态调度问题的研究方法,由浅及里、环环相扣,建立起了RGV动态调度模型,求解出了相关结果。在最后,对模型的优缺点进行了评价。在模型的推广部分,为了使模型更具有实用性,提出了多种目标函数的建立的想法。本文所建立的模型是有效的动态调度方法与优化技术的研究和应用,这对于制造企业提高生产效率、缩减成本等有着重要作用。

【Abstract】The dynamic scheduling problem of intelligent RGV is an important factor affecting the production efficiency of intelligent processing systems. The research and application of effective dynamic scheduling methods and optimization techniques play an important role in manufacturing enterprises to improve production efficiency. This paper analyzes the dynamic scheduling problem of intelligent RGV by establishing a reasonable RGV dynamic scheduling model. For task 1, first of all, from the case that the machine does not fail, the processing of one process and two processes is expressed by 0-1 integer programming. Then, with the shortest time to start processing of the last piece of material as the objective function, a single-process RGV static scheduling model based on 0-1 integer programming and a dual-process RGV static scheduling model are established. We use the particle swarm optimization algorithm to solve the model. The maximum number of materials processed by the three groups in 8 hours is 384, 361 and 392 respectively; in the processing of the two processes, the maximum number of materials processed by the three groups in 8 hours was 251, 240 and 268, respectively. After the RGV static scheduling model is established, consider the situation of machine failure. We will make the case of machine failure equivalent, and regard the occurrence of CNC failure in the CNC as the state of continuous operation of the CNC, therefore, based on the original RGV static scheduling model, the constraints are added to the original model, so that the single-process RGV dynamic scheduling model and the dual-process RGV dynamic scheduling model are established respectively. The results are shown in the supporting materials. For task 2, based on the single-process situation and the dual-process RGV dynamic scheduling model established in problem 1, the three sets of data of the system operating parameters in Table 1 are substituted into the model. The validity of the model and the effectiveness of the algorithm are obtained by the test. The obtained scheduling strategy of the RGV is present in "5.4 The Solution of Problem 2", and the operating efficiency is 92.37%. In this paper, the model we built from the static model, considering the research method from static scheduling problem to dynamic scheduling problem, from the shallow to the deep, all linked with one another, established the RGV dynamic scheduling model, and solved the relevant results. In the end, the advantages and disadvantages of the model were evaluated. In the promotion part of the model, in order to make the model more practical, the idea of establishing various objective functions is proposed. The model established in this paper is the research and application of effective dynamic scheduling method and optimization technology, which plays

an important role in manufacturing enterprises to improve production efficiency and reduce costs.

【关键词】0-1 整数规划; 粒子群算法; 静态调度模型; 动态调度模型

【Keywords】0-1 integer programming; particle swarm optimization; static scheduling model; dynamic scheduling model

【DOI】https://doi.org/10.26549/gcjsygl.v3i1.1004

1 问题重述

1.1 问题背景

智能RGV调度是影响智能加工系统生产效率的重要因素,有效的动态调度方法与优化技术的研究和应用,对于制造企业提高生产效率、降低生产成本等方面起着重要作用。智能立体化工厂使用RGV调度问题主要运用在两个领域:一方面是现代制造业所使用的与自动化生产线相配套的智能生产,能实现设备的合理运用,大幅增加生产效率,通过生产效率的提高,贯彻落实低碳环保的生产道路。另一方面,用于运输存储行业,在电子商业空前繁荣的时代,为满足企业发展需求,建设智能仓库,提高运输能力。RGV动态调度策略有效的解决了效率问题以及运输的效率问题。

1.2 问题提出

题文中的图1是一个智能加工系统的示意图,由8台计算机数控机床、1辆轨道式自动引导车、1条RGV直线轨道、1条上料传送带、1条下料传送带等附属设备组成。RGV是一种无人驾驶、能在固定轨道上自由运行的智能车。它根据指令能自动控制移动方向和距离,并自带一个机械手臂、两只机械手爪和物料清洗槽,能够完成上下料及清洗物料等作业任务。

现针对智能加工系统中常见的三种具体情况:

(1)一道工序的物料加工作业情况,每台CNC安装同样的刀具,物料可以在任一CNC上加工完成;

(2)两道工序的物料加工作业情况,每个物料的第一和第二道工序分别由两台不同的CNC依次加工完成;

(3)CNC在加工过程中可能发生故障(据统计:故障的发生概率约为1%)的情况,每次故障排除(人工处理,未完成的物料报废)时间介于10~20分钟之间,故障排除后即刻加入作业序列。要求分别考虑一道工序和两道工序的物料加工作业情况。

要求我们完成两项任务:

任务1:对一般问题进行研究,给出RGV动态调度模型和相应的求解算法;

任务2:利用表1中系统作业参数的3组数据分别检验模型的实用性和算法的有效性,给出RGV的调度策略和系统的

作业效率,并将具体的结果分别填入附件2的EXCEL表中。

2 问题分析

2.1 问题一的分析

任务一要求我们根据智能加工系统加工中常见的三种具体情况,对一般问题进行研究,给出RGV动态调度模型和相应的求解算法。考虑到问题的复杂性,可以对模型做出一定的假设,以方便研究问题。RGV的动态调度模型考虑到了实际生产的复杂性与不确定性,例如题文中给出的机器故障情况。因此,直接给出RGV的调度问题是困难的。为此,我们首先从简单情况考虑,再到复杂情况;考虑RGV的静态调度问题,即先忽略机器故障的情况,分别对情况(1)的单工序问题和情况(2)的双工序问题,给出静态问题下的RGV调度的优化模型,然后可以采用模拟退火算法、粒子群算法、遗传算法等智能算法,通过算法之间的相互结合,优势互补,得到更可靠的最佳解。在这其中,情况(2)需要对问题进行更深入地分析,即两种刀具的数量应该分别为多少,这些刀具该分配到哪些CNC上才有利于提升整个智能系统的效率。因此可以通过题文给出的表1中的数据,根据CNC加工完成一个两道工序物料的第一道工序所需时间和第二道工序所需时间,近似这些这样,我们就分别得到了单工序情况和双工序问题的静态调度模型,为解决RGV动态调度问题作出了铺垫。在考虑RGV动态调度模型时,考虑到出现了机器故障的情况。

具体的建立RGV动态调度模型思路流程图如下:

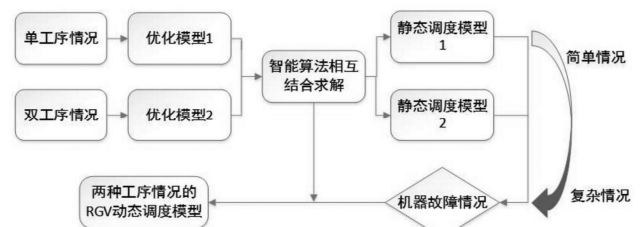


图1 RGV动态调度模型思路流程图

2.2 问题二的分析

任务二要求利用表1中系统作业参数的3组数据分别检验模型的实用性和算法的有效性,给出RGV的调度策略和系统的作业效率,并将求解出的具体结果放入到Excel文件中。

可以看出,问题二的求解是基于问题一模型之上的,通过在问题一中建立RGV动态调度模型,可以利用问题二给出的数据对模型进行输入,根据输出结果可判断出模型的实用性和算法的有效性。其中,模型的实用性可以通过输入不同组数据,观察求解结果,看结果是否出现了大的异动;而对于算法的有效性,首先可以计算智能加工系统在8小时内生产物料块数的最大值,然后利用题目一中求解的算法,把三组数据作为参数输入,分别求解出在单工序和双工序情况下的各种输出结果。通过算法求解出的模型结果,观察在时间结束时可以生产物料的块数是多少,然后再与最大值做比值,如果完成效率较高,说明算法存在一定的有效性。此时,我们就可以根据模型给出RGV的调度策略,并对作业效率作出评价。

3 模型假设

- (1)假设物料的序号按照顺序编排。
- (2)假设物料充足,可以保证在八小时内物料有充足的供应。
- (3)假设物料在传送带上的传送时间不记。
- (4)假设在初始状态每台CNC上都有完成的物料准备下料。
- (5)物料在第一道工序完成时不清洗,在第二道工序完成后才清洗。

4 符号说明

x_{ij}	第 <i>i</i> 块物料由第 <i>j</i> 台CNC完成
$D_i(k,j)$	位置状态函数, <i>k</i> 代表RGV的初始位置, <i>j</i> 代表RGV移动后的位置
T_{ij}	第 <i>i</i> 块物料由第 <i>j</i> 台CNC开始加工的时间
$wa sh(j)$	RGV为第 <i>j</i> 台CNC完成一个物料的 清洗作业所需时间
$S_{(i,j)}$	当前第 <i>j</i> 台CNC所处的状态,即第 <i>j</i> 台
$B_{1 \times 8}$	RGV为CNC1#,2#,3#,4#,5#,6#,7#,8# 一次上下料所需时间
$t_{1 \times 8}$	CNC加工完成一个物料所需的时间
d_{m1}	第 <i>m</i> 组数据RGV移动一个单位所需的时间
d_{m2}	第 <i>m</i> 组数据RGV移动二个单位所需的时间
d_{m3}	第 <i>m</i> 组数据RGV移动三个单位所需的时间
$\sum_{i=1}^8 x_{ij} = 1$	每个物料需要经过任意一台设备的第一道工序处理
a_{m1}	第 <i>m</i> 组数据RGV为奇数编号的 CNC一次上下料所需时间
符号	符号说明
a_{m2}	第 <i>m</i> 组数据RGV为偶数编号的 CNC一次上下料所需时间

5 模型的建立与求解

5.1 问题一模型的建立

为了得到RGV动态调度模型,首先考虑从建立较简单的静态调度模型出发,再加入机器故障的情况,建立动态调度模型。为了研究方便,根据题中信息,可以考虑一种极限情况:每班连续作业8小时即28800秒,根据表1(智能加工系统作业参数的3组数据表),可以看出第3组数据一台CNC的工作时间最短也即工作效率最高,根据这一组数据,可以计算得到一台CNC加工完成一块物料的时间为597秒(CNC加工完成一个一道工序的物料所需时间加RGV为CNC1#,3#,5#,7#一次上下料所需时间加RGV完成一个物料的清洗作业所需时间),因此可以估计8个小时一台CNC最多加工50块物料,8台CNC在理想情况下,8个小时最多可加工400块物料。

5.1.1 单工序情况静态调度模型的建立

考虑一道工序的物料加工作业情况,每台CNC都安装同样的刀具。在RGV调度问题中,如果没有对系统调度进行优化,则会出现效率最低的情况:当CNC完成加工作业时即发出需求信号,而智能RGV只根据CNC发出需求信号的先后然后到达该CNC处完成上下料以及熟料清洗,这会造成效率的低下与工作的迟滞。因此需要对单工序情况进行数学描述,建立单工序情况的静态调度模型。单工序情况的静态调度模型本质上是一个优化模型,我们基于0-1整数规划模型,引入0-1变量 x_{ij} :

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{第}i\text{块物料由第}j\text{台CNC完成} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

$(i = 1, 2, \dots, 400; j = 1, 2, \dots, 8)$

式中*i*的取值范围为1到400,表示8台CNC在8个小时中生产物料的最大块数;*j*的取值范围为1到8,表示共有8台CNC。在引入了变量之后,我们需要构造目标函数的表达式。目标函数*Z*的表达式如下:

$$\min Z = \max(\max_i T_{ij}) \quad (2)$$

为了使时间在到达8个小时前能尽可能提高智能RGV的工作效率,得到尽可能多的熟料。我们考虑以时间为目标变量,建立基于0-1整数规划的优化模型,用 T_{ij} 表示第*i*块物料由第*j*台CNC开始加工的时间, T_{ij} 的递推公式为:

$$T_{i+1,j} = \sum_{k=1}^8 x_{i,k} (\max\{T_{i,k} + D_i(k,j) + wa sh(j), S_{i,j} + t(j)\} + B(j)) \quad (3)$$

式中 $D_i(k,j)$ 是对智能RGV的位置状态做出描述,表示*k*台到*j*台的距离RGV所产生的时间, $wa sh(j)$ 表示*j*台的物料清洗作业所需的时间; $S_{i,j}$ 表示*i*物料*j*台最近一次任务开始的时间; $t(j)$ 表示CNC加工完成一个一道工序的物料所需时间; $B(j)$ 表示第*j*台CNC上下料所需要的时间。

首先,定义位置状态函数 $D_1(k,j)$:

$$D_1(k,j) = \begin{cases} 0, & \left\lfloor \frac{j-k}{2} \right\rfloor = 0 \\ d_{m1}, & \left\lfloor \frac{j-k}{2} \right\rfloor = 1 \\ d_{m2}, & \left\lfloor \frac{j-k}{2} \right\rfloor = 2 \\ d_{m3}, & \left\lfloor \frac{j-k}{2} \right\rfloor = 3 \end{cases} \quad (4)$$

$(k=1,2,\dots,8; j=1,2,\dots,8; m=1,2,3)$

式中 k 代表 RGV 的初始位置, j 代表 RGV 移动后的位置, d_{m1} 、 d_{m2} 、 d_{m3} 分别表示第 m 组数据 RGV 分别移动一、二、三个单位所需时间。

根据题意要求, RGV 为偶数编号 CNC 一次上下料所需的时间要大于为奇数编号 CNC 一次上下料所需时间。因此用分段函数 $B(j)$ 来表示 RGV 为 CNC 上下料所需时间:

$$B(j) = \begin{cases} a_{m1}, & j \text{ 为奇数} \\ a_{m2}, & j \text{ 为偶数} \end{cases} \quad (m=1,2,3) \quad (5)$$

式中 a_{m1} 、 a_{m2} 分别表示第 m 组数据 RGV 为奇数编号和偶数编号的 CNC 一次上下料所需时间。

用迭代的方法表示出下一次任务开始的时间:

$$S_{i+1,j} = \begin{cases} S_{ij}, & x_{i+1,j} = 0 \\ T_{i+1,j}, & x_{i+1,j} = 1 \end{cases} \quad (j=1,2,\dots,8) \quad (6)$$

以下是目标函数模型优化的约束条件:

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^8 x_{ij} = 1, & i=1,2,\dots,400 \\ 0 < \sum_{i=1}^{400} x_{ij} \leq 400, & j=1,2,\dots,400 \end{cases} \quad (7)$$

约束条件(7)表示 CNC 使用性能和为 1; 约束条件(7)表示 8 台 CNC 在工作时间 8 小时内生产物料的数量最多达 400 块。

故我们建立的优化模型为:

$$\min Z = \max_j (\max_i T_{ij}) \quad (8)$$

$$T_{i+1,j} = \sum_{k=1}^8 x_{i,k} (\max\{T_{i,k} + D_1(k,j) + wa \operatorname{sh}(j), S_{i,j} + t(j)\} + B(j)) \quad (9)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^8 x_{ij} = 1, & i=1,2,\dots,400 \\ 0 < \sum_{i=1}^{400} x_{ij} \leq 400, & j=1,2,\dots,400 \end{cases} \quad (10)$$

$B(j)$ 代表的是 RGV 为 CNC 一次上下料所需时间, $Wash(j)$ 代表的是 RGV 为第 j 台 CNC 完成一个物料的清洗作业所需时间。

5.1.2 双工序情况静态调度模型的建立

考虑双工序的物料加工作业情况, 每个物料的第一和第

二道工序分别由两台不同的 CNC 依次加工完成。因此, 两种不同刀片的数量分配策略以及奇偶编号 CNC 承担第几道工序的任务分配问题是解决双工序情况的首要任务和重要问题。

STEP1: 刀片数量分配

刀片数量的分配在一定程度上取决于 CNC 加工完成一个两道工序物料的第一道与第二道所需时间比, 因此我们根据表 1 智能加工系统作业参数的 3 组数据表, 得到刀片数量分配比(刀种一:刀种二):

表 1 刀片数量分配比

第一、二道工序所需时间比	刀片数量分配比(刀种一:刀种二)
400:378	1:1
280:500	3:5
455:182	6:2

根据第一、二道工序所需时间比, 我们可以得到在第一组数据中刀种一数量为 4 把, 刀种二数量为 4 把; 在第二组数据中刀种一数量为 3 把, 刀种二数量为 5 把; 在第三组数据中刀种一数量为 6 把, 刀种二数量为 2 把。

STEP2: CNC 承担的工序任务分配

在双工序情况中, 目标函数 Z 的表达式如下:

$$\min_{x \in D} Z = \max_j (\max_i T_{ij}) \quad j \in \{1,3,5,7\} \quad (11)$$

其中 T_{ij} 的递推表达式如下:

$$T_{ij} = \begin{cases} \sum_{k \in \{2,4,6,8\}} x_{ij} (\max\{T_{i-1,k} + D_1(k,j) + wa \operatorname{sh}(j), S_{i-1,j} + t(j)\} + B(j)) \\ \sum_{k \in \{1,3,5,7\}} x_{ij} (\max\{T_{i-1,k} + D_1(k,j), S_{i-1,j} + t(j)\} + B(j)) \end{cases} \quad (12)$$

约束条件如下:

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^8 x_{ij} = 1, & i=1,2,\dots,400 \\ 0 < \sum_{i=1}^{400} x_{ij} \leq 400, & j=1,2,\dots,400 \\ \sum_{i=1}^{2n} \sum_{k \in \{1,3,5,7\}} x_{ij} = n \\ \sum_{i=1}^{2n} \sum_{k \in \{2,4,6,8\}} x_{ij} = n \end{cases} \quad (13)$$

约束条件(13)表示 CNC 使用性能和为 1; 约束条件(13)表示 8 台 CNC 在工作时间 8 小时内生产物料的数量最多达 400 块由约束条件(13)表示。

5.1.3 单工序情况动态调度模型的建立

在建立单工序情况的动态调度模型时, 需要考虑机器故障的情况。因此, 在完成整个任务的过程中, 需要考虑随机时间即由于机器故障而引起的时间浪费。在这里我们可以规

定:设CNC出故障而消耗的时间可以看作CNC处于持续工作的状态,其在该种状态中的时间为[600,1200]这个区间的秒数随机值。且CNC在处于该种状态时,不接受其他任务的调度。因此单工序情况动态调度的优化模型描述为:

$$\min Z = \max(\max_i T_{ij}) \quad (14)$$

$$T_{i+1,j} = \sum_{k=1}^8 x_{i,k} (\max\{T_{i,k} + D_1(k,j) + wa sh(j), S_{i,j} + t(j)\} + B(j)) \quad (15)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^8 x_{ij} = 1, & i = 1, 2, \dots, 400 \\ 0 < \sum_{i=1}^{400} x_{ij} \leq 400, & j = 1, 2, \dots, 400 \\ T_{ia} \notin [600, 1200] \end{cases} \quad (16)$$

其中增加了约束条件 $T_{ia} \notin [600, 1200]$ 表示第 i 块物料由第 a 台CNC开始加工的时间不在 [600, 1200] 这个区间,这也符合了我们的规定。

5.1.4 双工序情况动态调度模型的建立

双工序情况动态调度模型需要考虑的机器故障情况更为复杂,原因是存在着两道工序。机器故障可发生在第一道工序执行过程中,影响第二道工序的进行。基于单工序情况的动态调度模型,类似地,我们可以得到双工序情况动态调度模型:

目标函数 Z 的表达式如下:

$$\min_{x \in D} Z = \max(\max_j T_{ij}) \quad j \in \{1, 3, 5, 7\} \quad (17)$$

其中 T_{ij} 的递推表达式如下:

$$T_{ij} = \begin{cases} \sum_{k \in \{2, 4, 6, 8\}} x_{ij} (\max\{T_{i-1,k} + D_1(k,j) + wa sh(j), S_{i-1,j} + t(j)\} + B(j)) \\ \sum_{k \in \{1, 3, 5, 7\}} x_{ij} (\max\{T_{i-1,k} + D_1(k,j), S_{i-1,j} + t(j)\} + B(j)) \end{cases} \quad (18)$$

约束条件如下:

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^8 x_{ij} = 1, & i = 1, 2, \dots, 400 \\ 0 < \sum_{i=1}^{400} x_{ij} \leq 400, & j = 1, 2, \dots, 400 \\ \sum_{i=1}^{2n} \sum_{k \in \{1, 3, 5, 7\}} x_{ij} = n \\ \sum_{i=1}^{2n} \sum_{k \in \{2, 4, 6, 8\}} x_{ij} = n \\ T_{ia} \notin [600, 1200] \end{cases} \quad (19)$$

5.2 问题一模型的求解

5.2.1 粒子群算法求解

由于粒子群算法有较快的收敛性和运算速度,在可行域为凸集的情况下较适用,同时为了克服其易收敛于局部最优解的缺点,因此我们采用粒子群算法对单工序情况静态调度问题进行求解,其算法原理如下:

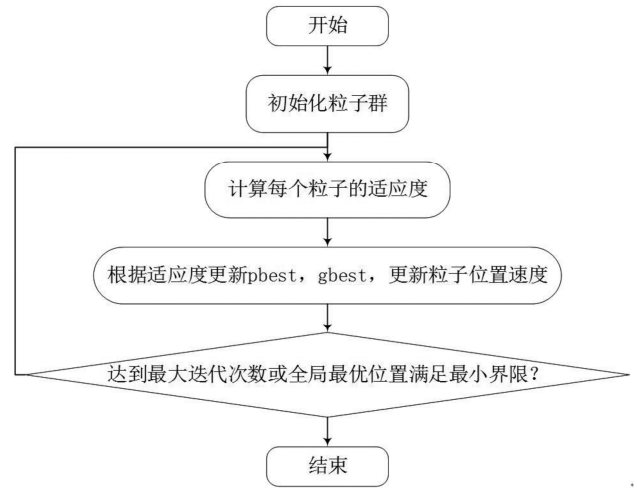


图3 粒子群算法原理

假设在一个 N 维空间中进行搜索,粒子 i 的信息可用两个 N 维向量来表示:

$$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN})^T \quad (19)$$

$$v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iN})^T \quad (20)$$

其中式(19)表示为第 i 个粒子的位置,式(20)表示速度。

更新粒子的速度和位置:

$$v_{id}^{k+1} = v_{id}^k + c_1 \times rand_1^k \times (Pbest_{id}^k - x_{id}^k) + c_2 \times rand_2^k \times (Gbest_d^k - x_{id}^k) \quad (21)$$

式中 $i = 1, 2, \dots, M$ 表示种群的大小; c_1 和 c_2 表示学习因子,合适的 c_1 和 c_2 既可加快收敛又不易陷入局部最优。 $rand_1$ 和 $rand_2$ 是介于 [0, 1] 之间的随机数; $Pbest_{id}^k$ 是粒子 i 在第 d 维的个体极值点的位置; $Gbest_d^k$ 是整个粒子群在 d 维的全局极值点的位置。

$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + v_{id}^{k+1} \quad (22)$$

式中 v_{id}^k 是粒子 i 在第 k 次迭代中第 d 维的速度; x_{id}^k 是粒子 i 在第 k 次迭代中第 d 维的当前位置。

通过 Matlab 编程,求得的部分结果如下:

表2 第一组优化的结果

加工物料序号	加工CNC编号	上料开始时间	下料开始时间
1	1	28	616
2	2	59	672
.....
383	7	28189	28780
384	8	28245	28836
385	1	28344	28935

经过数据分析后得到,最优的是384号物料,下料开始的时间为28836。

表3 第二组优化的结果

加工物料序号	加工CNC编号	上料开始时间	下料开始时间
1	1	30	640
2	2	65	705
.....
360	8	28153	28781
361	1	28272	28900
362	2	28337	28965

经过数据分析后得到,最优的是361号物料,下料开始的时间为28900。

表4 第三组优化的结果

加工物料序号	加工CNC编号	上料开始时间	下料开始时间
1	1	27	599
2	2	59	656
.....
392	8	28156	28733
393	1	28254	0
394	2	28352	0

经过数据分析后得到,最优的是392号物料,下料开始的时间为28733。

5.3 问题二模型的建立

在问题一中,我们已经得到了单工序的动态调度模型和双工序的动态调度模型,现根据问题二表一中的3组数据,分别检验模型的实用性和算法的有效性。位置状态函数 $D_1(k,j)$ 为:

$$D_1(k,j) = \begin{cases} 0, & \left\lfloor \frac{j-k}{2} \right\rfloor = 0 \\ d_{m1}, & \left\lfloor \frac{j-k}{2} \right\rfloor = 1 \\ d_{m2}, & \left\lfloor \frac{j-k}{2} \right\rfloor = 2 \\ d_{m3}, & \left\lfloor \frac{j-k}{2} \right\rfloor = 3 \end{cases} \quad (23)$$

$(k = 1, 2, \dots, 8; j = 1, 2, \dots, 8; m = 1, 2, 3)$

根据题文中给出的智能加工系统作业参数的3组数据表, d_{mn} 的数据如下表:

表5 三组参数数据

	d_{m1}	d_{m2}	d_{m3}
第一组	20	33	46
第二组	23	41	59
第三组	18	32	46

分段函数 $B(j)$ 来表示RGV为CNC上下料所需时间:

$$B(j) = \begin{cases} a_{m1}, & j \text{ 为奇数} \\ a_{m2}, & j \text{ 为偶数} \end{cases} \quad (m = 1, 2, 3) \quad (24)$$

表6 三组参数数据

	a_{m1}	a_{m2}
第一组	20	33
第二组	23	41
第三组	18	32

(1) 单工序的动态调度模型的检验

对单工序的动态调度模型进行检验时,在问题一中我们得到的优化模型为:

$$\min Z = \max(\max_i T_{ij}) \quad (25)$$

$$T_{i+1,j} = \sum_{k=1}^8 x_{i,k} (\max\{T_{i,k} + D_1(k,j) + wa \operatorname{sh}(j), S_{ij} + t(j)\} + B(j)) \quad (26)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^8 x_{ij} = 1, & i = 1, 2, \dots, 400 \\ 0 < \sum_{j=1}^{400} x_{ij} \leq 400, & j = 1, 2, \dots, 400 \\ T_{ia} \notin [600, 1200] \end{cases} \quad (27)$$

将上述参数的三组数据带入到该模型中,即可对单工序的动态调度模型做出实用性检验与算法有效性检验。

(2) 双工序的动态调度模型的检验对双工序的动态调度模型进行检验时,在问题一中我们得到的优化模型为:

$$\min_{x \in D} Z = \max_j (\max_i T_{ij}) \quad j \in \{1, 3, 5, 7\} \quad (28)$$

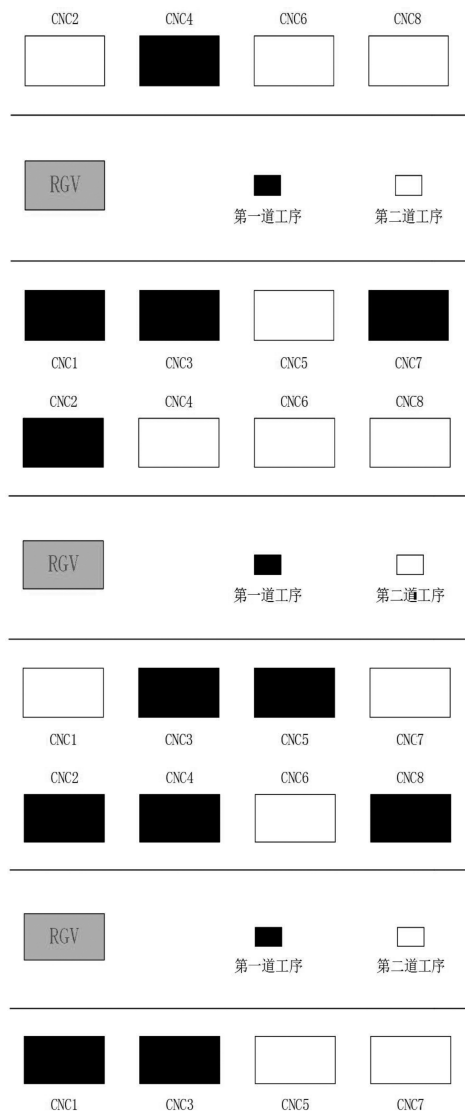
$$T_{ij} = \begin{cases} \sum_{k \in \{2, 4, 6, 8\}} x_{ij} (\max\{T_{i-1,k} + D_1(k,j) + wa \operatorname{sh}(j), S_{i-1,j} + t(j)\} + B(j)) \\ \sum_{k \in \{1, 3, 5, 7\}} x_{ij} (\max\{T_{i-1,k} + D_1(k,j), S_{i-1,j} + t(j)\} + B(j)) \end{cases} \quad (29)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^8 x_{ij} = 1, & i = 1, 2, \dots, 400 \\ 0 < \sum_{i=1}^{400} x_{ij} \leq 400, & j = 1, 2, \dots, 400 \\ \sum_{i=1}^{2n} \sum_{k \in \{1, 3, 5, 7\}} x_{ij} = n \\ \sum_{i=1}^{2n} \sum_{k \in \{2, 4, 6, 8\}} x_{ij} = n \\ T_{ia} \notin [600, 1200] \end{cases} \quad (30)$$

将上述参数的三组数据带入到该模型中,即可对单工序的动态调度模型做出实用性检验与算法有效性检验。

5.4 问题二模型的求解

(1) 调度策略



(2) 系统的作业效率

根据RGV的调度策略,可以计算出系统的作业效率,作业效率的计算公式如下:

$$\eta = \frac{\text{调度策略下CNC加工物料块数}}{\text{极限情况下CNC加工物料块数}}$$

代入数据,计算得系统的作业效率为92.32%

6 模型的检验

我们可以简单地考虑RGV是从编号为CNC1的机器开始工作的,当CNC连续发出指令时,RGV会根据指令的显示到达指令位置。它会自行确定该台CNC的上下料作业次序,并依次按顺序为其上下料加工。根据需求指令,RGV移动至需要作业的某CNC处,同时上料传送带将生料送到该CNC正前方供RGV上料加工。当RGV在完成一项作业任务后,会立即判断执行下一个作业指令。此时,如果没有接到其它作业的指令,RGV就会在原地等待直到下一个作业指令。如果某个

CNC完成一个物料的加工作业任务后,就会立刻向RGV发出需求信号。如果RGV没能即时到达为其添加上下料,该台CNC就会出现等待。

根据系统参数时间可以循环累加求得在8个小时内,机器总共加工了386个物料,与精确计算得出的结果391相差不大,这个模型在于简单方便,但是没有达到最优情况。

7 模型的评价与推广

7.1 模型的缺点

(1)在用递推公式递推时,迭代次数太少,求解的结果不够理想;迭代次数过多,会影响运算速度,运算速度过慢。(2)采用单一的粒子群算法求解结果,模型精度不高。

7.2 模型的优点

(1)采用粒子群算法对单工序情况静态调度问题进行求解,有较快的收敛性和运算速度,可以克服其易收敛于局部最优解的缺点。(2)对问题情况进行了分类,分别建立RGV的静态调度模型和动态调度模型,情况分明,模型具有普遍性和一般性,可推广性较高。(3)选取了合适的目标函数,较好的反映了实际情况,模型求解方便。

7.3 模型的改进与推广

在建立RGV的静态调度模型时,只选取了一种目标函数进行求解,为了使模型更具有实用性,可选取多种目标函数分别建立优化模型,可供参考的目标函数如下:

(1)考虑最大加工完成时间最短的目标函数完成时间是指加工完工件的所有工序所需时间,多个工件中的最大完成时间成为调度决策的完成时间。它是衡量调度决策的重要指标之一,体现了智能加工系统的生产效率,也是应用最广泛的性能指标之一。完成时间越小说明可调度越好,因此对完成时间的目标函数取最小值。

(2)考虑等待时间最小的目标函数

智能RGV若存在空档的等待时间越长,说明工作的效率越低。为了提高RGV的工作效率,可考虑将RGV等待时间最小设为目标函数。

参考文献

- [1]全国大学生数学建模竞赛网站:<http://www.mcm.edu.cn>
- [2]司守奎,孙玺菁.数学建模的算法与应用[M].北京:国防工业出版社,2015.3.
- [3]姜启源,谢金星,叶俊.数学模型[M].北京:高等教育出版社,2011.1
- [4]李中华,熊禾根.基于粒子群算法的车间作业调度问题[J].武汉科技大学,2009.7.
- [5]李学文,王宏洲,李炳照.数学建模优秀论文[M].北京:清华大学出版社,2017.
- [6]何利,刘永贤,谢华龙,刘笑天.基于粒子群算法的车间调度与优化[J].东北大学,2008.4.