

采用实时生产信息的单元制造任务动态调度方法

周光辉¹, 张国海^{1,2}, 王蕊¹, 江平宇¹, 张映锋¹

(1. 西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室, 710049, 西安; 2. 山东理工大学轻工与农业工程学院, 255049, 山东淄博)

摘要: 运用无线射频技术来实现对制造单元加工现场实时生产信息的动态获取,并针对制造单元生产过程中常发生的新任务加入、设备损坏和交货期更改的不确定性事件,以制造任务最短完工时间为调度目标,建立了单元制造任务的动态调度模型,通过引入爬山搜索方法构建了混合遗传算法,实现了对该模型的有效解算. 混合遗传算法的进化操作由选择、交叉、变异与爬山进化算子组成,可有效地提高算法的收敛速度,在开发的采用实时生产信息的单元制造任务动态调度系统上进行了调度案例验证,结果表明,所提出的方法可以有效地解决不确定性事件的单元制造任务的动态调度问题,从而提高了调度方案与制造单元实际生产需求的一致性.

关键词: 任务调度;无线射频;不确定性事件;混合遗传算法

中图分类号: TH166 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2009)11-0056-05

Dynamic Job Scheduling Method with Real-Time Production Information for Manufacturing Cell

ZHOU Guanghui¹, ZHANG Guohai^{1,2}, WANG Rui¹, JIANG Pingyu¹, ZHANG Yingfeng¹

(1. State Key Laboratory for Manufacturing Systems Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. School of Light Industry & Agriculture Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049, China)

Abstract: A dynamic job scheduling method is proposed, where radio frequency identification technology is adopted to collect the real-time production information related to workpieces, operations and facilities produced at the manufacturing spots; on the basis, to deal with the three types of uncertain events including new jobs arrival, facility breakdown and delivery-time change occurred in the manufacturing cell production, taking the shortest finishing time of jobs as the scheduling objective, a dynamic job scheduling mathematical model is established and solved with hybrid genetic algorithm designed by introducing hill-climbing searching method. Four evolution operators consisting of selection, crossover, mutation and hill-climbing are designed to effectively improve the convergence speed of the algorithm. A prototype system of dynamic job scheduling based on real-time production information is developed. The job scheduling case study is carried out and the results show that the proposed job scheduling method enables to deal with the dynamic job scheduling problems for uncertain events efficiently to improve the consistency between scheduling solutions and practical requirements of manufacturing cell production.

Keywords: job scheduling; radio frequency identification; uncertain events; hybrid genetic algorithm

单元制造任务调度问题的本质是一个涉及任务、时间和资源的三维空间的多目标决策问题,其目

的是在制造单元有限资源的约束下,确定工件在其关联设备上的加工顺序和时间,以实现调度目标的最优(如最短完工时间、最小成本等)^[1-5].

本文提出了一种基于实时生产信息的单元制造任务动态调度方法,在制造单元生产过程中,实时监测不确定事件、获取相关动态信息并上传至调度系统.上层调度系统对原调度方案进行评价,如果突发的不确定事件不影响原调度方案的效果与鲁棒性,则维持原调度方案,否则重新载入调度参数执行调度操作,产生满足新需求的调度方案.该方法既保证了单元制造系统生产过程的稳定性,又实现了对单元生产过程的实时控制.在该动态调度方法中,采用无线射频(RFID)技术实现对加工现场实时生产信息的动态获取与传输,通过建立单元制造任务动态调度模型,实现针对不确定性事件的任务调度方案的动态生成.

1 单元制造任务动态调度框架

基于实时生产信息的单元制造任务动态调度框架由 2 个层次构成,各层次的主要功能如图 1 所示.

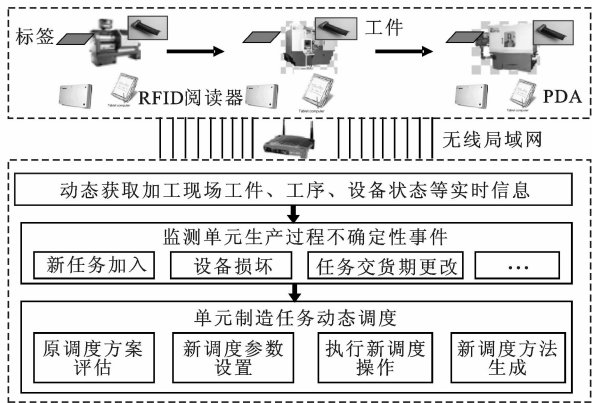


图 1 单元制造任务动态调度的基本框架

1.1 加工现场实时生产信息的动态获取层

动态获取层主要负责制造单元加工现场的工件、工序与加工设备相关的实时生产信息的动态获取,并向单元制造任务动态调度层进行实时传输,获取的信息包括工件信息(工件 ID、名称、批量、物料、工艺、加工进度、成本、交货期等)、工序信息(工序 ID、名称、内容、加工状态、相关加工设备等)和加工设备信息(设备 ID、名称、任务序列、加工能力、加工状态等),并通过这些信息来支持任务的动态调度操作.本文具体采用 RFID 技术来实现加工现场实时生产信息的动态获取与传输.

1.2 单元制造任务动态调度层

调度层的主要功能是根据加工现场获取的实时生产信息,以及制造单元上层下达的指令性信息,如交货期更改、新任务加入等,来建立单元制造任务动态调度模型,实现对单元制造任务的动态调度,产生满足单元实际生产需求的调度方案.在本文中,重点考虑了新任务加入、设备损坏、任务交货期更改这些不确定性事件,以及单元制造任务调度决策与调度方案的动态生成问题.

2 基于 RFID 的实时生产信息获取技术

与条形码技术相比,RFID 的优势在于可识别单个具体物体,可透过物体外部材料读取数据,识别的距离与范围较条形码广且容错性强.目前,RFID 技术与无线网络技术相结合已被逐步应用于物流和供应链管理、生产制造和装配等领域,并取得了显著效果^[6-8].

为采用 RFID 技术实现对单元加工现场实时生产信息的动态获取,需要建立硬件环境,主要包括制造单元层的无线制造环境、RFID 设备的配置与安装等问题.由于单元的制造活动主要集中在加工设备对工件工序的加工与物料的搬运上,因此 RFID 设备的阅读器主要安装在加工设备的前后端,智能卡则贴附于运送工件的标准容器上,以实现工件、工序、加工设备的相关信息动态获取与互操作(见图 2).

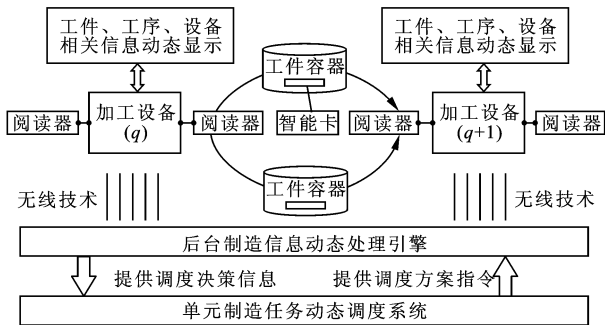


图 2 系统的实现框架

采用图 2 的框架可实现对单元加工现场实时生产信息的动态获取,例如,通过安装于加工设备 q 前后端的 RFID 阅读器读取标准容器上的智能卡信息,即可实时获得进入加工设备 q 的工件 ID、工件名称、工序 ID、工序名称、工序内容、工序的开始加工时间与加工完成时间、加工设备的当前任务序列、加工设备故障等相关信息,为单元制造任务的动态

调度提供数据源。

3 单元制造任务的动态调度模型与解算

3.1 单元制造任务动态调度数学模型

单元制造任务动态调度问题的描述如下:①设 N_t 为时刻 t 单元的待加工制造任务集合, $N_t = \{J_i | 1 \leq i \leq n\}$, J_i 在 t 中包含 $U_{t,i}$ 道工序, 设 $O_{i,j}$ 为 J_i 的第 j 道工序, 则 $J_i = \{O_{i,j} | 1 \leq j \leq U_{t,i}\}$; ②设 M 为制造单元与任务相关的加工设备集合, $M = \{f_i | 1 \leq i \leq m\}$; ③设 $P_{i,j}(f_k)$ 为 J_i 的 $O_{i,j}$ 在 f_k 上的加工时间; ④设 $S_{i,j}(f_k)$ 为 J_i 的 $O_{i,j}$ 在 f_k 上的开始加工时间; ⑤设 $C_{i,j}(f_k)$ 为 J_i 的 $O_{i,j}$ 在 f_k 上的完成加工时间; ⑥设 $T_i(f_k, f_{k+1})$ 为 J_i 在 f_k 与 f_{k+1} 间的运输时间。存在的假设为: ①工序一旦执行就不能中断(除设备故障外); ②假设所有任务的优先级相同; ③不同任务的工序之间没有先后约束; ④各任务需考虑在设备间的运输时间。因此, 以制造任务的最短完工时间为调度目标, 建立了单元制造任务动态调度的目标函数

$$\min F = \max(C_{i,U_{t,i}}(f_k)) \quad (1)$$

并受如下约束

$$S_{i,j+1}(f_{k+1}) - S_{i,j}(f_k, f_{k+1}) \geq C_{i,j}(f_k) \quad (2)$$

$$S_{i,j}(f_k) \geq C_{x,y}(f_k) \quad (3)$$

$$C_{i,U_{t,i}}(f_k) \leq D_i \quad (4)$$

$$i, x \in [1, n], j \in [1, U_{t,i}]$$

$$y \in [1, U_{t,x}], k \in [1, m]$$

式中: D_i 表示 J_i 的交货期。

在式(2)~式(4)的3个约束中, 式(2)为工序约束, 表示只有加工完 J_i 的 $O_{i,j}$ 后, 才能加工 $O_{i,j+1}$; 式(3)为资源约束, 表示在同一时间 f_k 只能加工一道工序; 式(4)则为交货期约束, 表示所有任务的完工时间不能超过交货期。

3.2 动态调度流程的设置

单元制造任务动态调度的目标就是针对发生在单元生产过程中的不确定性事件, 实时产生满足实际需求的调度方案。本文重点对“新任务加入”、“设备损坏”、“任务交货期更改”这3种典型不确定性事件进行了研究, 规划的单元制造任务动态调度流程如下: ①监控单元生产过程中的不确定性事件; ②评估原调度方案的可行性; ③判断是否执行新调度操作, 如果执行新调度操作则转向④, 如果不执行, 则转向①; ④设置与载入新调度参数; ⑤执行动态新调度操作并输出调度结果。

在调度流程中, 原调度方案的评估和新调度参

数的设置与载入是要首先解决的2个关键问题。针对原调度方案评估, 其目的是确定当前调度方案的可用性和鲁棒性, 如果仍能维持原调度方案的可用性, 则不需执行新调度操作。针对上述3种不确定性事件, 需采用不同的判断标准进行评估。

针对新调度参数的设置与载入, 需要更新的调度参数包括: ①待加工任务集合 N_t , 需统计已完成和未完成的工序数; ②单元加工设备集合 M ; ③加工设备中任务占用时间矩阵; ④加工设备间的转移时间矩阵。其中, 新调度时间的设置是关键, 为简便起见, 本文设定: 若在 t_0 时刻有不确定性事件发生, 且各加工设备还需 Δt_j (j 为设备编号) 来完成当前加工任务, 并且各加工设备执行新调度的时间为 $t_0 + \max \Delta t_i$ 。

3.3 混合遗传算法的模型解算算法设计

由于传统遗传算法存在易早熟的缺陷, 本文在传统遗传算法中引入爬山搜索方法, 建立的混合遗传算法的解算模型如图3所示。针对遗传操作形成的当代群体中的最佳个体, 通过基因位变异进行邻域搜索来实施爬山操作, 并用最佳个体替换该种群中的最劣个体, 以提升算法的全局搜索能力。

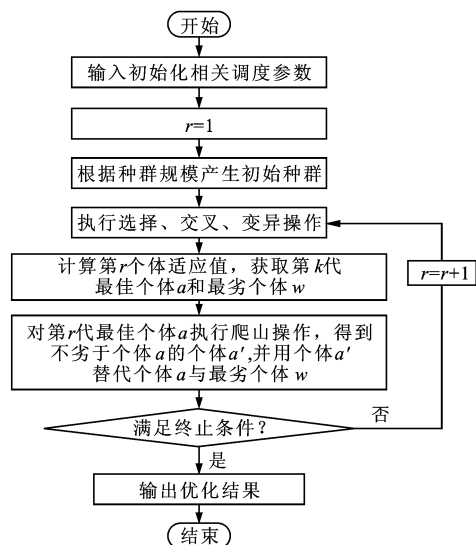


图3 混合遗传算法流程

3.3.1 染色体编码与适应度函数设计 针对单元制造任务动态调度模型“变任务变工序”的求解特征, 提出基于加工设备的编码方式构建模型的染色体编码, 参与编码的字符有“1”, ..., “100”, “,”。染色体编码结构如图4所示。

由图4可知, 该染色体展现为由加工设备编号构成的字符串, 并且进一步可划分为 n 个子串, 每个

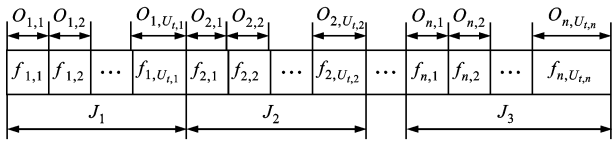


图 4 基于加工设备编码方式的染色体编码

子串序列对应于一个制造任务的工序序列的可选加工设备集。 $f_{i,j}$ ($1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq U_{i,i}$) 表示 J_i 的工序 $O_{i,j}$ 的加工设备, 并由此得出染色体的总长度为

$$L = \sum_{i=1}^n U_{i,i}$$

针对单元制造任务动态调度的总体完工时间最短的调度目标, 设计适应度函数为

$$F_{it} = \begin{cases} \max(C_{i,U_{i,i}}(f_k)) \max(C_{i,U_{i,i}}(f_k)) \leq D_i \\ \max(C_{i,U_{i,i}}(f_k)) + C_p \max(C_{i,U_{i,i}}(f_k)) > D_i \end{cases} \quad (5)$$

式中: C_p 为惩罚系数。

3.3.2 算法的进化操作 在本文提出的混合遗传算法中, 进化操作由选择、交叉、变异与爬山进化算子组成。对于选择算子, 采用轮盘赌方法, 对于交叉算子, 采用两点交叉方案, 对于变异算子的设计, 由于被选择的待变异基因对应于某一具体制造任务的具体某道工序的加工设备, 因此在变异时, 算法控制只能在该工序所对应的可选加工设备上集中进行变异。基于该变异的方法, 可提高算法的收敛速度, 具体交叉与变异方法参见文献[9]。

爬山操作用于产生更好的个体^[10], 在本算法中, 针对交叉与变异得到的当前种群中的最佳个体, 执行爬山操作, 其算法流程如下: ①输入当前种群中的最佳个体 a 与适应度值 F_a , 最劣个体 w 与适应度值 F_w ; ②生成最佳个体随机基因序列 $\text{Bit_list} = (b_1, \dots, b_k, \dots, b_n)$; ③从 Bit_list 中按顺序取出 b_k 并变异, 产生新的个体 a' , 计算其适应度值 F'_a ; ④如果 $F'_a \geq F_a$, 则 $a = a'$, $w = a'$, 否则 $a = a$, $w = a$; ⑤如果 $k < n$, 则 $k = k + 1$, 转向③, 否则输出最佳个体 a , 流程结束。

4 案例研究

为验证制造任务动态调度方法的正确性, 开发了基于实时生产信息的单元制造任务动态调度系统, 并在西安交通大学机械加工试验中心(配备多套 RFID 设备)进行了具体案例验证。

4.1 新任务加入的单元制造任务动态调度

针对新任务加入的动态调度的处理原则为: 执行新调度决策, 如果新加任务在现有任务加工完成后单独进行调度仍能满足交货期, 则只需对新加入的任务进行单独调度; 否则, 需在新任务加入时间点执行新调度操作, 以产生满足要求的新调度方案。

图 5 为针对新任务加入的单元制造任务的动态调度案例, 在新制造任务加入前, 有 6 个任务与 6 台设备参与调度, 图 5 左下角为原调度方案。在时间点 30 上加入编号为 7、8 的新任务, 系统执行新调度决策得出新加入任务不能满足交货期, 需进行新调度操作, 图 5 右下角为重新调度后的甘特图。在图 5 的甘特图中, 方括号 $[i, j]$ 中的 i 表示任务编号, j 表示该任务的工序编号。

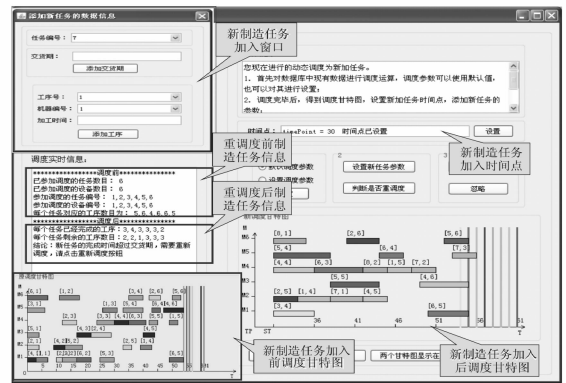


图 5 新任务加入的单元制造任务动态调度案例

4.2 设备损坏的单元制造任务动态调度

调度原则为: 若被损坏设备在维修好后继续进行加工, 而且仍能满足所有任务的交货期, 或者设备损坏时其上没有待加工任务, 则不需进行重新调度; 否则, 需进行新调度操作。

如图 6 所示, 在时间点 28 上编号为 2 的设备被损坏, 该设备的维修时间为 3 个时间单位, 系统执行新调度决策, 得出设备 2 修好后, 原调度方案仍能满足所有任务的交货期, 因此不需执行新调度操作。

4.3 任务交货期更改的单元制造任务调度

针对任务交货期更改事件的动态调度的处理原则为: 若原调度方案仍能满足制造任务的新交货期, 则不需执行重新调度; 否则, 需进行重新调度。在图 7 的调度案例中, 时间点 28 的任务 1、2 的交货期分别由原来的 56、57 个时间单位更改为 52、50 个时间单位, 系统执行新调度决策得出原调度方案不能满足新的交货期, 需重新调度。图 7 的左上角为原调度方案的甘特图, 右下角为重新调度后的甘特图。



图6 设备损坏的单元制造任务动态调度案例

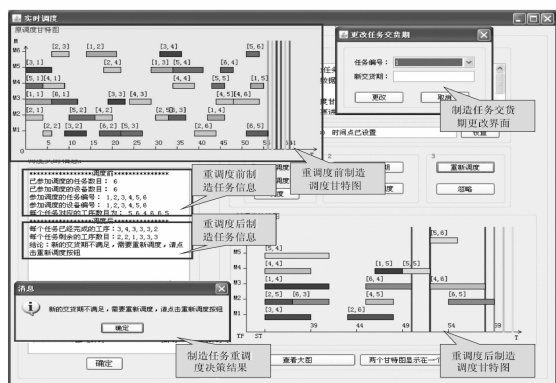


图7 任务交货期更改的单元制造任务动态调度案例

5 结束语

本文提出了一种基于实时生产信息的单元制造任务动态调度方法,并开发了相应的单元制造任务动态调度系统,在动态获取制造单元加工现场的实时生产信息的基础上,对单元生产过程中常见的3种不确定性事件所引发的动态调度问题进行了研究.本文建立了单元制造任务的动态调度数学模型,并通过引入爬山搜索方法来构建混合遗传算法,实现了对调度模型的有效解算,并产生了满足单元实际生产需求的调度方案.通过具体调度实例验证结果表明,所提出的基于RFID技术的实时生产信息获取方法,以及单元制造任务动态调度模型与解算算法,可以很好地解决针对单元实际生产过程中不确定性事件的制造任务的动态调度问题.

参考文献:

- [1] SAKAWA M, MORI T. An efficient genetic algorithm for job-shop scheduling problems with fuzzy processing time and fuzzy due date [J]. Computers and Industrial Engineering, 1999, 36(2): 325-341.
- [2] MATTFELD D C, BIERWIRTH C. An efficient genetic algorithm for job shop scheduling with tardiness objectives [J]. European Journal of Operational Research, 2004, 155(3): 616-630.
- [3] YUN Y S. Genetic algorithm with fuzzy logic controller for preemptive and non-preemptive job-shop scheduling problems [J]. Computers and Industry Engineering, 2002, 43(3): 623-644.
- [4] VINOD V, SRIDHARAN R. Scheduling a dynamic job shop production system with sequence-dependent setups: an experimental study [J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2008(24): 435-449.
- [5] 周光辉,江平宇,黄国全. 客户竞争驱动的任务调度非合作博弈研究 [J]. 机械工程学报, 2006, 42(7): 56-61. ZHOU Guanghui, JIANG Pingyu, HUANG Guoquan. Non-cooperation game for customer's competition driven job schedule [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006, 42(7): 56-61.
- [6] WEINSTEIN R. RFID: a technical overview and its application to the enterprise [J]. IT Professional, 2005, 7(3): 23-27.
- [7] CHOW H K H, CHOY K L, LEE W B. Design of a RFID case-based resource management system for warehouse operations [J]. Expert Systems with Applications, 2006, 30(4): 561-576.
- [8] CHOW H K H, CHOY K L, LEE W B. A dynamic logistics process knowledge-based system-an RFID multi-agent approach [J]. Knowledge-Based Systems, 2007, 20(4): 357-372.
- [9] ZHOU Guanghui, JIANG Pingyu, HUANG Guoquan. A game-theory approach for job scheduling in networked manufacturing [J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2009, 41 (9/10): 972-985.
- [10] ALI R Y. An effective hybrid immune-hill climbing optimization approach for solving design and manufacturing optimization problems in industry [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(6): 2773-2780.

(编辑 管咏梅)