

1-4-2019

Abnormal Event Driven Rescheduling Decision Making in Discrete Manufacturing Workshop

Weixi Ji

1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; ;2. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Food Manufacturing Equipment, Wuxi 214122, China;

Youyong Cai

1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; ;

Chaoyang Zhang

1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; ;

Peng Wei

1. School of Mechanical Engineering, 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.

Abnormal Event Driven Rescheduling Decision Making in Discrete Manufacturing Workshop

Abstract

Abstract: To solve the problem of rescheduling of workshop production process, *combined with the present situation of transparent manufacturing process in discrete workshop, a decision method of rescheduling and an event processing in discrete workshop driven by the abnormal events are proposed. In the IOT driven discrete manufacturing workshop environment, the complex event processing technology is applied to analyze and deal with the real-time information on manufacturing processes. On this basis, by defining the driven mechanism, the decision scheme and the performance evaluation index of rescheduling, the decision method of rescheduling in discrete workshop facing the costing is put forward; and with the help of simulated annealing and genetic algorithm, the optimal scheduling scheme is figured out.* The effectiveness of the rescheduling decision method is verified by the case study of the abnormal events in the discrete workshop, which is obtained after the event processing.

Keywords

simulated annealing and genetic algorithm, complex event processing, event-driven mechanism, rescheduling decision

Recommended Citation

Ji Weixi, Cai Youyong, Zhang Chaoyang, Peng Wei. Abnormal Event Driven Rescheduling Decision Making in Discrete Manufacturing Workshop[J]. Journal of System Simulation, 2018, 30(11): 4043-4052.

异常事件驱动的离散制造车间重调度决策

吉卫喜^{1,2}, 蔡酉勇¹, 张朝阳¹, 彭威¹

(1. 江南大学机械工程学院, 无锡 214122; 2. 江苏省食品制造装备重点实验室, 无锡 214122)

摘要: 针对车间生产重调度问题, 结合离散车间制造过程透明化的现状, 提出了异常事件驱动的离散制造车间重调度决策方法。在物联网驱动的离散制造车间环境下, 利用复杂事件处理技术分析并处理制造过程的实时信息。通过定义重调度的判定方案、驱动机制和性能评价指标, 提出了面向成本的离散车间重调度决策方法, 并借助模拟退火遗传算法对最优重调度方案进行求解。通过对经过事件处理后获得的离散车间异常事件的案例分析, 验证了该重调度决策方法的有效性。

关键词: 模拟退火遗传算法; 复杂事件处理; 事件驱动机制; 重调度决策

中图分类号: TP391; TH186 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2018) 11-4043-10
DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201811002

Abnormal Event Driven Rescheduling Decision Making
in Discrete Manufacturing WorkshopJi Weixi^{1,2}, Cai Youyong¹, Zhang Chaoyang¹, Peng Wei¹

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Food Manufacturing Equipment, Wuxi 214122, China)

Abstract: To solve the problem of rescheduling of workshop production process, combined with the present situation of transparent manufacturing process in discrete workshop, a decision method of rescheduling and an event processing in discrete workshop driven by the abnormal events are proposed. In the IOT driven discrete manufacturing workshop environment, the complex event processing technology is applied to analyze and deal with the real-time information on manufacturing processes. On this basis, by defining the driven mechanism, the decision scheme and the performance evaluation index of rescheduling, the decision method of rescheduling in discrete workshop facing the costing is put forward; and with the help of simulated annealing and genetic algorithm, the optimal scheduling scheme is figured out. The effectiveness of the rescheduling decision method is verified by the case study of the abnormal events in the discrete workshop, which is obtained after the event processing.

Keywords: simulated annealing and genetic algorithm; complex event processing; event-driven mechanism; rescheduling decision

引言

车间制造过程, 尤其是面向多品种、小批量生

产的离散型车间制造过程极为复杂, 经常发生设备故障、加工超时、紧急插单等车间生产扰动。这些生产扰动极大地降低了原有的初始调度方案的有效性, 增加了企业的生产成本。因此为了保证车间生产系统的稳定性, 在车间扰动发生时需要对原有的调度计划进行重调度。Salido^[1]、Zakaria^[2]、张玺^[3]、段俊华^[4]等通过研究重调度算法, 提高了重



收稿日期: 2018-09-27 修回日期: 2018-10-23;
基金项目: 江苏省自然科学基金青年基金(BK20170190),
江南大学自主科研计划-重点项目(JUSRP51732B);
作者简介: 吉卫喜(1961-), 男, 江苏姜堰, 博士, 教授, 博导, 研究方向为产品数字化设计与智能制造、先进制造技术等。

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

• 4043 •

调度模型的适应能力和有效性。陈超^[5]针对生产扰动下的负荷不均和能耗问题,将平均流经时间和能耗作为重调度性能指标。裴海燕^[6]、刘乐^[7]等针对特定场景提出了相应的重调度决策方法。Zhang等^[8]考虑每台机器的实时状态,提出了一个基于多代理的实时调度方法。通过分析上述文献可知,目前对于重调度问题的研究主要是重调度模型的本身,包括算法、性能指标和针对的情景等,或借助其他技术提高重调度的效率。而在重调度驱动机制方面,许多文献采用混合驱动作为重调度的驱动机制,即周期性驱动和事件驱动两种驱动相结合的方式。其中周期性驱动不仅耗费资源,且难以确定准确可靠的周期值。但由于车间生产过程不够透明,不能对所有的车间异常事件进行捕获,所以只能通过周期性驱动来降低未被捕获的异常事件所造成的影响。

随着物联网技术的快速发展,车间生产过程越来越透明,获取实时信息变得更加容易。目前,国内外有许多学者在制造车间采用物联网技术。Tao等^[9]介绍了制造数据的生命周期,讨论了数据分析在制造业中的作用,特别是在智能制造领域有前景的应用方面。张存吉^[10]、黄毅^[11]等借助RFID与复杂事件处理技术提出了制造车间的实时监测方法。通过对上述文献的研究可知,目前物联网技术在车

间的研究,主要是数据建模,并且只涉及简单的应用场景。复杂事件处理技术在制造车间的应用主要是监控制造资源,而很少将信息与上层系统相结合。

本文针对上述问题,在物联网驱动的离散制造车间环境下,利用复杂事件处理技术定义并处理了离散车间制造过程事件,并在此基础上提出了一种异常事件驱动的离散车间重调度决策方法,然后利用模拟退火遗传算法对最优重调度方案进行求解,最后通过案例分析验证了该决策方法的有效性。

1 物联网驱动的离散制造车间

图1展示了一个物联网驱动的离散型制造车间环境。在该环境下,车间内所有的制造元素都能够被实时获取信息。当车间异常事件发生时,上层系统根据这些元素的信息能够及时识别出相应的异常事件,并实时向相关的系统发送信息,使之做出及时准确的响应。例如加工区内的零件在一段时间后仍未离开加工区,使用复杂事件处理技术对该信息进行处理,识别出发生了加工超时的异常事件,然后将该异常事件的名称、涉及的制造元素、发生时间等信息发送给重调度系统。最终重调度系统根据异常事件的信息给出及时有效的重调度方案。

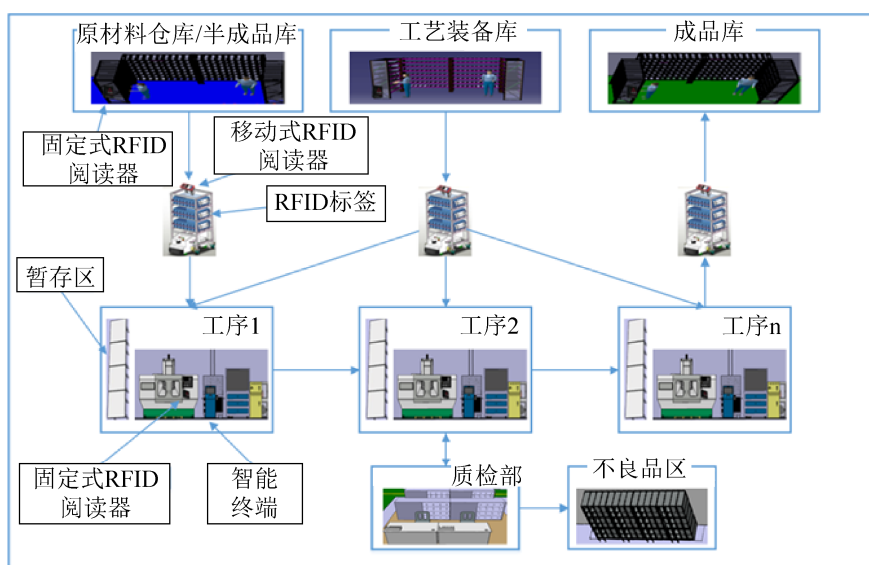


图1 物联网驱动的离散型制造车间

Fig. 1 Discrete manufacturing workshop based on the internet of things

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

• 4044 •

2 物联网驱动的离散型车间制造过程事件处理

物联网驱动的离散车间中, 能够被感知和交互的制造元素统称为智能制造实体 (Smart Manufacturing Objects, SMOs)^[12]。智能制造实体根据功能分为被动智能制造实体和主动智能制造实体, 具体的定义如下。

定义 1 被动智能制造实体 PSMOs (Passive SMOs), 是整个物联网驱动的离散车间的信息源, 负责保存整个工厂的相关信息。

定义 2 主动智能制造实体 ASMOs (Active SMOs), 是整个物联网驱动的离散车间的信息中介, 负责感知并传输被动智能制造实体携带的信息。

被动智能制造实体 PSMOs 携带的信息属于静态信息 S_i (Static information), 比如该实体的名称、数量等属性信息。当被主动智能制造实体 ASMOs 感知后, 该信息就会转换成动态信息 D_i (Dynamic information), 比如物料被动智能制造实体 MPSMOs 在仓库出口被用于清点的设备主动智能制造实体 EASMOs 感知后, 就能感知到该物料的出库事件。静态信息转换成动态信息的过程需要借助复杂事件处理 CEP (Complex Event Processing) 技术。

2.1 事件定义

事件是指事物某个动作的发生或者是状态的变化。在物联网驱动的离散车间内, 当一个制造元素变成了一个智能制造实体后, 它的相关信息就能被其他主动智能制造实体感知。这些信息在经过事件处理后就会转化成事件, 从而触发其他行为。

定义 1 基本事件, 是指智能制造实体交互后产生的信息进行清洗、过滤以及简单处理后得到的事件, 仅反映该 PSMOs 所处的状态。记为: E_b , 则

$$E_b = \langle E_{id}, A_i, T_s, T_e \rangle \quad (1)$$

式中: T_s 、 T_e 分别是指该事件的起始和结束时间。

感知 PSMOs 的过程主要由 5 个状态组成, 即

5 个基本事件。该过程如图 2 所示。

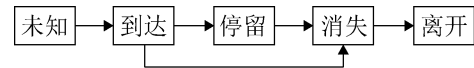


图 2 感知智能制造实体的过程
Fig. 2 Process of sensing SMOs

(1) 未知事件 UE_b (Unknown Events), 是指 PSMOs 未被感知的状态, 即未检测到相关原始事件。

(2) 到达事件 AE_b (Arrived Events), 是指 PSMOs 刚被 ASMOs 感知的状态, 即 AE_b 的持续时间未达到设定的阈值 T_{t1} ($T_e - T_s < T_{t1}$)。

(3) 停留事件 SE_b (Stayed Events), 是指 PSMOs 被放置在 ASMOs 感知范围内的状态, 即 SE_b 持续时间大于或等于设定的阈值 T_{t1} ($T_e - T_s \geq T_{t1}$)。

(4) 消失事件 DE_b (Disappeared Events), 是指 PSMOs 刚离开 ASMOs 感知范围的状态, 即 DE_b 的持续时间小于设定的阈值 T_{t2} ($T_e - T_s < T_{t2}$)。

(5) 离开事件 LE_b (Left Events), 是指 PSMOs 完全离开 ASMOs 感知范围的状态, 即 LE_b 持续时间大于或等于设定的阈值 T_{t2} ($T_e - T_s \geq T_{t2}$)。

定义 2 复杂事件, 是指符合一定规则, 由基本事件或者复杂事件构成的事件, 记为: E_c , 则

$$E_c = \langle E_{id}, E, T_s, T_e \rangle \quad (2)$$

式中: E 是指构成复杂事件的事件集合, 即 $E = \{E_{bs}, E_{cs}\}$ 。复杂事件的规则主要包括 SMOs 的静态信息 S_i 和事件关系。其中事件关系主要包括逻辑关系和时序关系^[13]。

2.2 复杂事件处理

在离散车间生产制造过程中会产生多种异常事件, 通过事件处理有助于及时发现问题并做出响应。对于这些异常事件, 需要通过预先设置对应的规则, 才能够进行处理。以加工超时和人员离岗举例说明。

(1) 加工超时

在制品 W_1 在加工区 M_1 进行加工, 预计加工

时间为 T_0 ，假设进入加工区后即进行加工，当加工时间超过 T_0 ，则触发加工超时异常事件。

$$E_1 = SE \langle M_1, W_1, t_1, t_2 \rangle ((t_2 - t_1) > T_0) \quad (3)$$

式中： SE 表示在制品进入加工区开始加工时产生的停留事件，其中 SE 的开始时间是 t_1 ，结束时间是 t_2 ，其中 $t_2 - t_1 > T_0$ 。则 E_1 表示在 t_1 时 W_1 进入 M_1 进行加工，经过 T_0 时间该工件仍然在加工，表明该道工序发生了加工超时异常事件。

(2) 人员离岗

在 t_r 时刻加工区 M_1 内未感知到人员 P_1 ，则触发人员离岗异常事件。

$$E_2 = UE \langle M_1, P_1, 0, t_0 \rangle (t_0 \geq t_r) / LE \langle M_1, P_1, t_1, t_2 \rangle (t_1 = t_r) \quad (4)$$

式中： UE 表示在 t_r 之前一直处于未知状态； LE 表示 P_1 在 t_r 离开 M_1 。则 E_2 表示在 t_r 之前 P_1 一直未出现在 M_1 ，或者在 t_r 时刻， P_1 离开 M_1 ，表明该道工序发生了人员离岗异常事件。

3 离散车间重调度决策

3.1 重调度决策

3.1.1 重调度驱动机制

过去由于无法获取车间状态的实时数据，所以需要初始调度计划进行周期性地重调度，以保证生产计划能够有效地进行。而对于物联网驱动的离散车间，车间的过程状态可知，所以完全基于事件驱动的重调度是可行的。但是当车间异常事件的发生频率过大时，容易造成生产系统的紊乱。因此在纯事件驱动机制下，当异常事件发生频率过大时，保证生产系统的稳定十分重要。

3.1.2 重调度判定方案

重调度的判定是整个重调度的入口，不仅包括判定是否需要进行重调度，还包括选择合适的重调度方法，因此一个好的重调度判定方案能够保证车间生产系统的平稳运行。车间异常事件主要分为紧急事件和普通事件，其中对生产的影响如表 1 所示。

表 1 车间异常事件的影响

Tab. 1 Impact of abnormal events in workshop

事件类型	事件名称	事件直接影响
紧急事件	插单/撤单	当前的生产计划无法满足新的生产需求
	加急	
	工艺更改	
普通事件	超时、返工	加工时间增加
	离岗、缺料、少拿	加工等待时间增加
	故障	当前时间机器不可用

根据表 1 的普通事件的举例可知，普通事件直接影响的是工序耗时，只是形式不同，包括加工时间、加工等待时间变化、机器不可用。

在一般情况下，普通事件对于初始调度的影响不大，但是一旦普通事件发生的次数过多，达到一定阈值，就会直接影响生产计划，导致生产任务无法在规定时间内之前完成，因此提出了基于最迟完成时间的重调度判定。

对于每个生产任务都有一个最迟完成时间 t_l ，一旦有工件的最终完成时间 t_u 超过了这个值，就需要进行部分重调度甚至再生重调度。最迟完成时间的表达式为：

$$t_{li} = t_{di} - t_{pi}, i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

式中： t_{li} 表示工件 i 的最迟完成时间； t_{di} 表示工件 i 计划装配时间或者计划交货时间； t_{pi} 表示工件 i 的预留时间，该值根据生产经验而定。因此重调度判定的流程如图 3 所示。

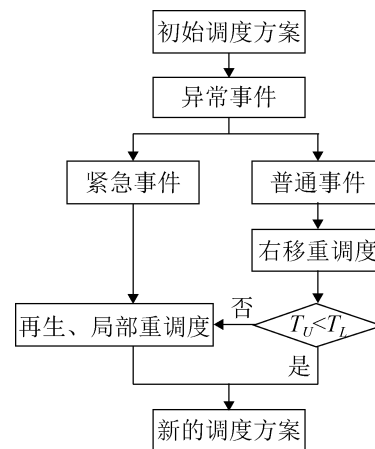


图 3 重调度判定流程图

Fig. 3 Rescheduling judgment flow chart

在生产计划中, 一旦发生普通事件, 如果不进行任何干预, 生产系统默认是按照右移重调度进行的。同时调度系统自动以这种默认的右移重调度方式进行计算更新, 一旦存在工件的最终完成时间 T_U 晚于最迟完成时间 T_L , 即图 3 的“否”, 则立刻进行再生、局部重调度。

3.1.3 重调度性能评价

在重调度决策中, 再生重调度与局部重调度的选择是由重调度的性能评价指标所决定的。根据准时制的思想, 工件应该在预定时间完成, 因此一旦生产提早完成或者延迟完成都会产生相应的交货成本。交货成本公式如下:

$$M_i = \begin{cases} \alpha(t_{si} - t_i) & t_i \leq t_{si} \\ \beta(t_i - t_{si}) & t_{si} < t_i \leq t_{li} \\ \beta(t_{li} - t_{si}) + \gamma(t_i - t_{li}) & t_{li} \leq t_i \end{cases} \quad (6)$$

式中: M_i 是指工件 i 的交货成本; t_{si} 是指工件 i 的预定完成时间, 该值由初始调度计划确定; t_i 是指重调度计划中工件 i 的实际完成时间; t_{li} 是指工件 i 的最迟完成时间, 该值是根据订单信息以及经验确定; α 是指生产任务完成时间早于预定完成时间的惩罚系数; β 是指生产任务完成时间晚于预定完成时间但早于最迟完成时间的惩罚系数; γ 是指生产任务的最终完成时间晚于最迟完成时间的惩罚系数。

$$C_d = \sum_{i=1}^n M_i \quad (7)$$

式中: C_d 是指整个重调度计划的交货成本。

除了交货成本外, 重调度还涉及到稳定性成本。当重调度后零件的加工设备与初始调度计划中的加工设备不同时, 该零件资源就需要进行重新分配。而涉及到资源重新分配, 就会产生相应的成本, 包括物流、工时、能耗等, 这类成本统称为稳定性成本。

$$C_s = \sum_{i=1}^n x_{mi} \delta_{mi}, x_{mi} = \begin{cases} 1, \text{工件} i \text{ 加工设备更改} \\ 0, \text{工件} i \text{ 在原设备加工} \end{cases} \quad (8)$$

式中: C_s 是指重调度计划的稳定性成本; δ_{mi} 是指工件 i 加工设备变动的惩罚系数; x_{mi} 是判断工件 i

加工设备是否变动的决策变量。

因此重调度的性能评价函数是由交货成本与稳定性成本构成。

$$F = \theta C_d + (1 - \theta) C_s \quad (9)$$

式中: θ 为成本的权重系数。

3.2 基于模拟退火遗传算法的离散车间重调度

3.2.1 模型描述

离散型车间是由 m 台设备组成, 当前任务要完成的工件个数为 n 。设备记为 $M = \{m_1, m_2, \dots, m_m\}$, 工件记为 $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$, 工序记为 $O = \{O_{i1}, O_{i2}, \dots, O_{ij}\}$, M_{ij} 是工件 J_i 的第 j 道工序 O_{ij} 所对应的可用设备集, $MO_{m,x}$ 为设备 m 当前计划下待加工的工序集, X 为设备 m 所需要加工的工序总数。 $TS_{i,j}$ 和 $TE_{i,j}$ 分别表示工件 J_i 的第 j 道工序 $O_{i,j}$ 的开始和结束时间。 $MOTS_{m,x}$ 和 $MOTE_{m,x}$ 分别表示设备 m 第 x 个加工任务的开始时间和结束时间。

$$F = \theta C_d + (1 - \theta) C_s \quad (10)$$

$$\text{s.t. } TE_{i,j} \leq TS_{i,j+1} \quad (11)$$

$$MOTS_{m,0} = t \quad (12)$$

$$MO_{m,n} = O_{i,j} \quad (13)$$

$$MOTS_{m,n} = \max(TE_{i,j-1}, MOTE_{m,n-1}) \quad (14)$$

$$0 \leq \theta \leq 1 \quad (15)$$

式(10)为重调度性能评价函数。式(11)表示上一道工序的完成时间小于下一道工序的开始时间, 即保证工件按照工序进行加工。式(12)表示加工是从 t 时开始, 例如上班是从 8 点开始, 则 $t=8$ 。式(13)是式(14)初始条件, 即工序 $MO_{m,n}$ 对应工序 $O_{i,j}$ 。式(14)表示设备 m 的第 n 个任务的开始时间是由该任务对应工件的上一个工序的结束时间和该设备上上一个任务的结束时间的最大值决定, 即保证同一台设备相邻两个生产任务能够有序进行。式(15)是评价函数内, 权重系数的取值范围。

3.2.2 模拟退火遗传算法

(1) 编码与解码操作

本文的模拟退火遗传算法采用工序码和机器码相结合的编码方式。工序码决定加工顺序，机器码决定加工设备。例如，工序码{1, 2, 2, 3}表示加工顺序为 $\{O_{10}, O_{20}, O_{21}, O_{30}\}$ ，机器码{1, 3, 2, 1}中，第一个数字“1”表示 O_{10} 在对应的可用设备集 M_{10} 中选择第1台设备，第二个数字“3”表示 O_{10} 在对应的设备集 M_{20} 中选择第3台设备，其它数字同理。为了保证加工的效率，在进行解码时，除了按照工序码外，还需要结合设备的空闲情况。例如，对于上述工序编码为{1, 2, 2, 3}的情况，根据机器码获取相应的加工设备为 $\{m_1, m_2, m_3, m_3\}$ ，加工设备 m_1 开始 O_{10} 加工的同时，设备 m_2 也开始 O_{20} 加工，而不是等到 O_{10} 加工完成才开始 O_{20} 加工。

(2) 种群初始化

为了尽可能维持调度的稳定性，在种群初始化的过程中，除了随机生成的个体外，还包括部分初始调度计划的个体。

(3) 选择操作

为了提高算法效率，本文采用锦标赛选择方法，并引入精英保留策略。

(4) 交叉操作

为了避免不可行解的产生，机器码选用两点交叉算子，工序码选用 CSEX (Complete Subtour Exchange Crossover)交叉算子。该交叉算子有利于将优秀的基因保存下来。交叉过程如图4所示。

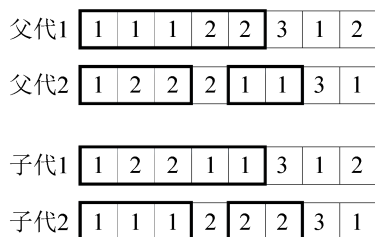


图4 CSEX过程图

Fig. 4 Diagram of CSEX process

(5) 变异操作

对于工序码的具体操作是随机交换两个基因的位置。而对于机器码则要根据工序对应可用机器个数，随机生成一个值作为该基因。

(6) 模拟退火操作

步骤1: 将遗传算法获得的当代优秀个体作为初始解，同时定义初始温度 T_0 、结束温度 T_1 和冷却系数 $K \in (0,1)$ 。

步骤2: 判断当前温度 T 是否大于 T_1 ，如果是则进行步骤3，否则退出模拟退火操作，并返回最佳个体 I_B 。

步骤3: 对当前个体 I_C 进行变异操作，获取临近个体 I_N ，比较两者的适应度，如果 I_N 优于 I_C ，则用 I_N 替换 I_C 和 I_B ，如果 I_N 劣于 I_C ，则将 $\exp(-\Delta I / T)$ 与随机数 $\sigma \in (0,1)$ 进行比较，如果大于该随机数，则接受该劣质解，用 I_N 替换 I_C 。

步骤4: 令 $T = T \times K$ ，并返回步骤2。

3.2.3 不同异常事件的重调度算法机制

根据重调度流程，当重调度判定系统判定该异常事件的造成的影响超过阈值(最迟完成时间)，直接触发重调度系统。因此针对不同异常事件启用不同的算法机制。

(1) 加工时间和加工等待时间变化事件

对于正在加工的工序，保持原有的调度顺序。对于未加工的工序，调用算法进行重调度优化。

(2) 设备故障事件

如果有被中断的工序，则需要将其归入未加工工序集。针对未加工的工序，结合故障设备的可用时刻，调用算法进行重调度优化。

(3) 紧急插单、加急事件

当发生此类事件时，需要将紧急工序提取出来，放入未加工的工序集中。针对未加工的工序，结合紧急订单的具体需求，调用算法进行重调度优化。

4 案例分析

4.1 案例介绍

本研究以江苏某公司离散车间为例，该车间共有8台设备，目前有8个工件正在加工，其初始调度方案如图5所示。

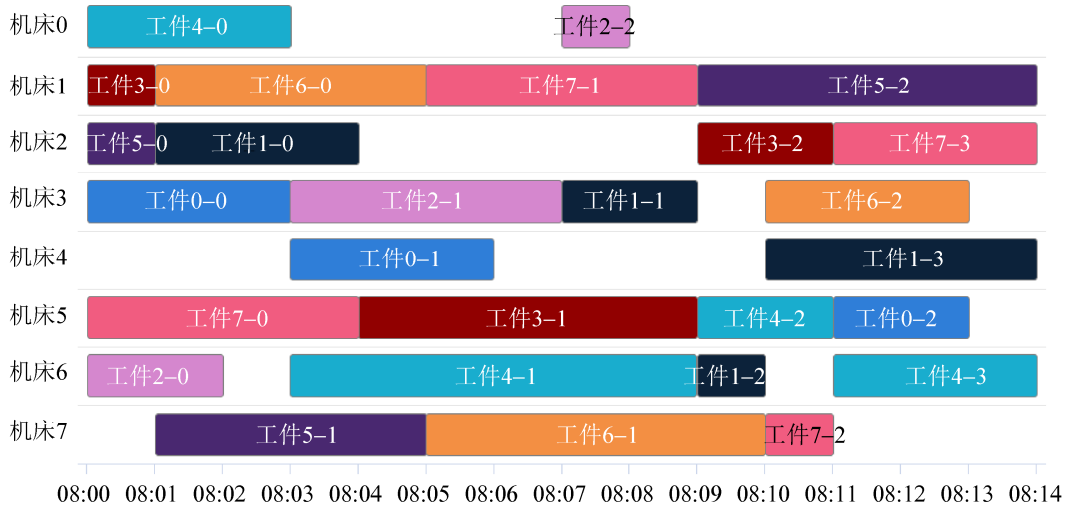


图 5 初始调度方案

Fig. 5 Initial scheduling plan

基于图 5 的初始调度方案, 针对经过事件处理后获得的制造车间异常事件, 如表 2 所示, 对生产过程进行重调度, 工件 8 的加工时间表如表 3 所示。

表 2 制造车间异常事件

Tab. 2 Abnormal events in manufacturing workshop

事件名称	事件内容
紧急插单	在 08:03 时刻插入工件 8
生产超时	工件 3-1 超时 3 min
设备故障	机床 6 在 08:03 时刻发生故障, 预计修复时间为 6 min
人员离岗	在 08:06 机床 3 的工人离岗 3 min

表 3 工件 8 的加工时间表

Tab. 3 Processing schedule of No.8 workpiece

	M_0	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7
$O_{8.0}$	5	2	—	4	3	—	5	6
$O_{8.1}$	2	—	4	5	6	5	—	7
$O_{8.2}$	—	3	5	4	—	3	4	3

重调度决策的参数设置如下: 预定完成时间 t_s 为初始生产计划中该工件的完成时间。最迟完成时间 t_l 为该工件预定完成时间的 2 min 后。惩罚系数 α 、 β 、 γ 、 δm 分别为 100、100、150、200。权重系数 θ 为 0.5。

4.2 案例运行及结果分析

针对制造车间异常事件进行生产计划重调度的成本如表 4 所示。

表 4 重调度成本

Tab. 4 Costing of rescheduling

事件名称	重调度成本			
	右移	局部	再生	节约/%
紧急插单	—	—	50	—
生产超时	700	650	650	7.1
设备故障	1200	575	450	62.5
人员离岗	200	200	200	0

表 4 针对常见的 4 种生产加工异常事件比较了 3 种重调度方法花费的成本。对于紧急插单事件, 由于事件的紧急性, 为了保证紧急插单工件能够在规定的时间内完成, 必须使用再生重调度方法。在本案例中, 由于设备故障异常事件发生时间早, 影响工序数多, 所以右移重调度花费的成本最大, 再生重调度花费的成本最小, 即再生重调度最优, 且相比生产系统默认的右移重调度, 节约 62.5% 的成本。而对于发生时间靠后或者影响工序较少的生产超时和人员离岗异常事件, 3 种重调度方法的成本相似, 即 3 种重调度方法都是有效的。另外, 可以发现对于局部重调度节约的成本不大的情况, 再生重调度的成本也没有大的改善。因为计算再生重调度需要花费大量时间, 所以为了提高重调度系统的效率, 可以先进行局部重调度。如果局部重调度节约的成本不高, 那么可以不进行再生重调度。

针对这 4 种常见的异常事件, 通过比较 3 个重调度方法所花费的成本大小给出最优重调度方案, 如图 6~9 所示。

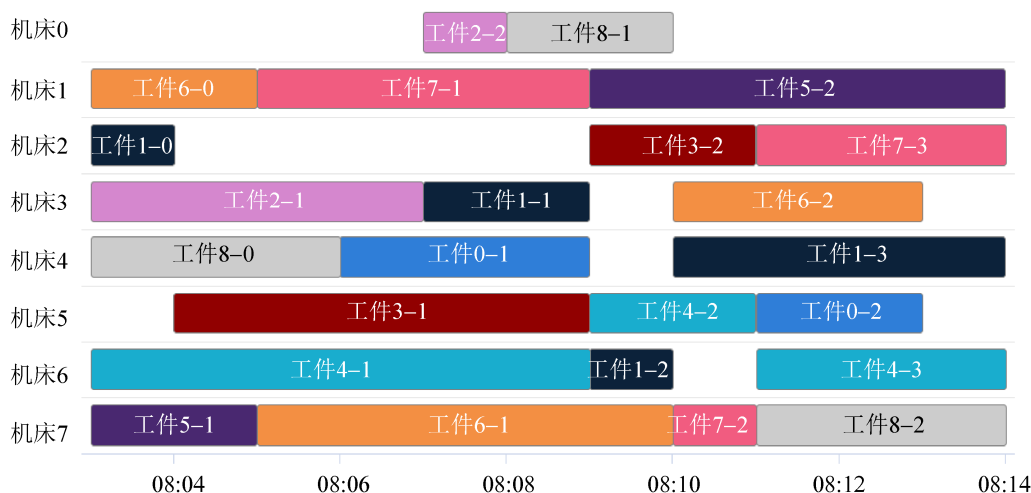


图6 紧急插单最优重调度方案
Fig. 6 Optimal rescheduling scheme of rush order inserting

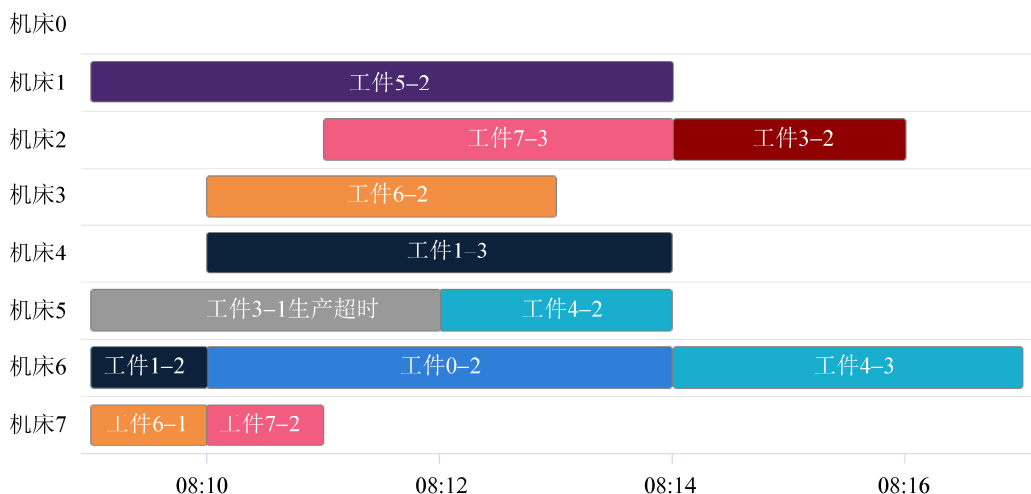


图7 生产超时最优重调度方案
Fig. 7 Optimal rescheduling scheme of producing timeout

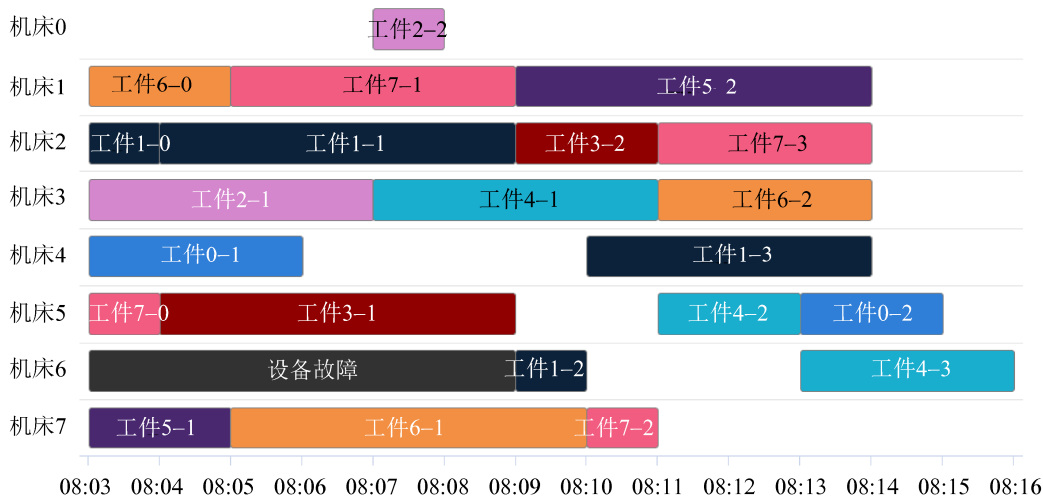


图8 设备故障最优重调度方案
Fig. 8 Optimal rescheduling scheme of machine failure

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

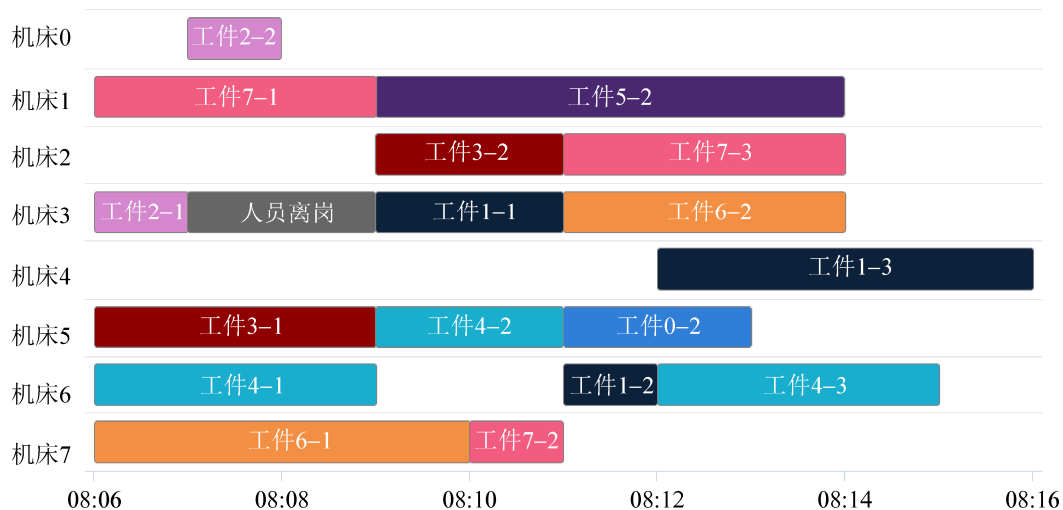


图9 人员离岗最优重调度方案

Fig. 9 Optimal rescheduling scheme of staff absence

5 结论

本文在物联网驱动的离散制造车间环境下,使用复杂事件处理技术分析并处理离散车间的异常事件。在车间异常事件处理的基础上,提出了异常事件驱动的离散型车间制造过程重调度决策方法。当发生异常事件时,以最迟完成时间作为判定条件,选择合适的重调度方法进行重调度,并以交货成本和稳定性成本作为重调度性能评价指标,使用模拟退火遗传算法生成最优的重调度方案。通过对车间异常事件的案例分析,验证了本文提出的事件驱动的重调度决策方法能够及时响应生产扰动,并给出准确的最优重调度方案。

参考文献:

- [1] SALIDO M A, ESCAMILLA J, BARBER F, et al. Rescheduling in job-shop problems for sustainable manufacturing systems[J]. *Journal of Cleaner Production*(S0959-6526), 2016, 162.
- [2] ZAKARIA Z, PETROVIC S. Genetic algorithms for match-up rescheduling of the flexible manufacturing systems[J]. *Computers & Industrial Engineering* (S0360-8352), 2012, 62(2): 670-686.
- [3] 张玺, 刘明周, 张铭鑫, 等. 基于改进模糊 Petri 网的制造车间重调度策略优化研究[J]. *管理工程学报*, 2017, 31(2): 216-221.
ZHANG Xi, LIU Mingzhou, ZHANG Mingxin, et al. Research on Rescheduling Strategy Optimization in

Manufacturing Shop based on Improved Fuzzy Petri Net[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2017, 31(2): 216-221.

- [4] 段俊华, 孙卫青, 李俊青, 等. 一种基于迁徙鸟群优化的流水车间重调度方法[J]. *控制工程*, 2017, 24(8): 1656-1661.
DUAN Junhua, SUN Weiqing, LI Junqing, et al. A Flow Shop Rescheduling Algorithm Based on Migrating Birds Optimization[J]. *Control Engineering of China*, 2017, 24(8): 1656-1661.
- [5] 陈超, 王艳, 严大虎, 等. 面向能耗的柔性作业车间动态调度研究[J]. *系统仿真学报*, 2017, 29(9): 2168-2174.
Chen Chao, Wang Yan, Yan Dahu, et al. Research on Dynamic Flexible Job Shop Scheduling Problem for Energy Consumption[J]. *Journal of System Simulation*, 2017, 29(9): 2168-2174.
- [6] 裴海燕, 蒋祖华, 胡家文, 等. 插单扰动下流水线生产与维护的重调度优化[J]. *工业工程与管理*, 2017, 22(1): 50-57.
PEI Haiyan, JIANG Zuhua, HU Jiawen, et al. Integrating Rescheduling with Preventive Maintenance in the Flow-shop Problem under Rush Orders[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2017, 22(1): 50-57.
- [7] 刘乐, 周泓. 单一机器干扰下的开放式车间重调度[J]. *计算机集成制造系统*, 2013, 19(10): 2467-2480.
LIU Le, ZHOU Hong. Open shop rescheduling under singular machine disruption[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2013, 19(10): 2467-2480.
- [8] ZHANG Y, HUANG G Q, SUN S, et al. Multi-agent

- based real-time production scheduling method for radio frequency identification enabled ubiquitous shopfloor environment[J]. Computers & Industrial Engineering, 2014, 76(C): 89-97.
- [9] TAO F, QI Q, LIU A, et al. Data-driven smart manufacturing[J]. Journal of Manufacturing Systems (S0278-6125), 2018, 48: 157-169.
- [10] 张存吉, 姚锡凡, 张剑铭. 制造车间基于 RFID 与 CEP 的工件实时监测[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2017, 44(4): 38-45.
ZHANG Cunji, YAO Xifan, ZHANG Jianming. Real-time Monitoring of Workpieces Based RFID and CEP for Manufacturing Workshop[J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2017, 44(4): 38-45.
- [11] 黄毅, 郑力, 向晴. 基于复杂事件处理的 RFID 辅助实时生产监控[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2013, 53(5): 721-728.
- HUANG Yi, ZHENG Li, XIANG Qing. RFID integrated real-time manufacturing monitoring based on complex event processing[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2013, 53(5): 721-728.
- [12] ZHONG R Y, HUANG G Q, LAN S, et al. A two-level advanced production planning and scheduling model for RFID-enabled ubiquitous manufacturing[J]. Advanced Engineering Informatics(S1474-0346), 2015, 29(4): 799-812.
- [13] 李想, 王建仑, 高红菊. 面向农田物联网复杂事件处理的时空事件模型[J]. 农业机械学报, 2015, 46(增 1): 153-161.
LI Xiang, WANG Jianlun, GAO Hongju. Time and Space Event Model for Complex Event Processing in Internet of Things in Farmland[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(S1): 153-161.

《系统仿真学报》荣获“2017 中国国际影响力优秀学术期刊”证书

由中国学术期刊(光盘版)电子杂志社与清华大学图书馆联合成立的中国学术文献国际评价研究中心, 发布了 2017 版《中国学术期刊国际引证年报》, 《系统仿真学报》荣获“2017 中国国际影响力优秀学术期刊”。

《年报》(2017 版)采用的统计源期刊为 20192 种, 涵盖 WoS 收录的 SCI 期刊 8874 种、SSCI 和 A&HCI 期刊 4645 种, ESCI 期刊 5578 种; 增补期刊 1762 种。参照中外文学术期刊总被引频次、影响因子、半衰期等各项国际引证指标, 计算期刊影响力指数(CI), 对国内 6210 种学术期刊排序, 遴选了人文社科、自然科学与工程技术两个类别的 TOP10%为国际影响力品牌学术期刊。TOP5%以内的期刊为“最具国际影响力学术期刊”、TOP5-10%之间的为“国际影响力优秀学术期刊”。