

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.03.029

加工车间生产物流时间瓶颈的调度研究*

邓 伟, 鲁建厦*, 翁耀炜

(浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014)

摘要: 针对一类具有生产物流时间瓶颈的加工车间调度问题,给出了基于加工单元和运输单元的时间瓶颈环节确定方法,采用以最大批量响应时间最小为优化目标,建立了基于生产物流时间瓶颈的加工车间调度模型;为了解该调度模型,设计了一种基于模拟退火的混合粒子群算法,该算法采用分段整数编码的方法,并在模拟退火算法中引入变温参数来提高算法效率。通过仿真,分别采用 PSO 和 PSO-SA 对所建立的调度模型进行了求解。研究结果表明,PSO-SA 算法求解效率高且该算法的稳定性好,同时验证了该模型和算法的有效性、广泛性。

关键词: 混流加工车间; 调度; 生产物流; 时间瓶颈; 混合粒子群算法

中图分类号: TP301; TH166 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2013)03-0373-07

Scheduling research of work-shop with bottleneck in cycle-time

DENG Wei, LU Jian-sha, WENG Yao-wei

(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at solving a kind of scheduling problem of work-shop with the bottleneck in cycle-time, firstly, the bottleneck in cycle-time with the work and transport unit was presented based on the minimize maximum mass response time, and the scheduling model was built based on the bottleneck in cycle-time. Then, according to the characteristics of work-shop, a hybrid algorithm with particle swarm optimization(PSO) and simulated annealing(SA) algorithm was proposed to solve the model. In the hybrid algorithm, a subsection integer coding method was taken for simple. A dynamic temperature parameter was introduced to simulate annealing algorithm for increasing the algorithm's efficiency. The simulation was given to test the scheduling model using the algorithms of PSO and PSO-SA. The results indicate that the PSO-SA algorithm has high solving efficiently, good stability, it validates the effectiveness and the universality of the model and algorithm.

Key words: mix flow work-shop; scheduling; production logistics; bottleneck in cycle-time; hybrid particle swarm optimization algorithm(HPSO)

0 引 言

混流加工车间生产调度问题(Mix Flow Work-Shop Scheduling Problem)是具有一定难度的生产调度问题,它的研究目的是对生产资源进行优化配置,根据已知各个生产工序的加工时间及加工设备的情况,在满足约束条件的限制下,使生产资源得到优化配置,使得订单产品的某项指标(机器的完工时间、

批量响应时间、延迟时间及生产成本等)达到最优。针对现阶段客户对批量响应时间越来越短的要求,将生产物流过程的瓶颈与响应时间联系起来,可知影响客户订单响应时间延长的环节为生产物流时间瓶颈,时间瓶颈已成为影响订单准时交货的严重阻碍,基于时间瓶颈的加工车间调度问题的研究成为必然。

目前关于生产物流过程的时间瓶颈研究较少,且研究重点主要放在加工单元的瓶颈辨识,相关研究文

收稿日期: 2012-11-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70971118);浙江省自然科学基金资助项目(LY12E05021);浙江省教育厅科研资助项目(Y201121984)

作者简介: 邓 伟(1988-),女,安徽安庆人,主要从事精益生产、约束理论方面的研究。E-mail: 330990998@163.com

通信联系人: 鲁建厦,男,教授,硕士生导师。E-mail: ljs@zjut.edu.cn

献有:陈杰、赵伟等^[1-2]提出基于约束理论的混流生产调度研究,通过建立仿真模型来辨识瓶颈资源;李修琳、鲁建厦等^[3]基于混流混合车间展开了协同调度研究,建立了以在制品成本为最小目标的混流混合车间调度问题模型,分别对零件加工、部件装配和产品总装3个加工单元进行详细分析;叶明^[4]展开了对混流流水线生产计划与调度问题的研究,构建了基于产品控制和在制品动态调整的混流装配生产计划与调度体系结构;上述关于混流生产模式的调度研究,主要集中在串行生产线或组装生产线的加工单元上,通过生产线中的相关性建立模型^[5],而很少考虑到运输单元,虽然有的文献提出将运输单元看成是广义的制造单元,并与其他制造单元进行比较,但是在建模中将运输单元的物流能力假设为无限能力^[6],而没有考虑到运输单元的实际生产状况。

由于生产物流过程中的各种不确定性,导致时间瓶颈呈现动态性,在这种情况下,要基于时间瓶颈来做好生产系统的调度工作,提高生产系统的性能,因此需要建立基于时间瓶颈的加工车间调度模型。本研究拟开展对加工单元中批量响应时间组成的研究的同时,也对运输单元中批量响应时间组成进行研究。

1 加工车间调度模型建立

本研究将运输单元和加工单元分别单独进行讨论;运输单元主要考虑的是产品以批量运输方式到达加工单元前所选择运输路径对应的运输时间问题,若在所有的运输路径中,选择的运输路径并非最短,那么运输单元的运输时间有可能成为时间瓶颈环节,因此需要对运输路径进行调度,尽量选取最短路径进行运输,从而降低批量响应时间;加工单元采用混流生产方式进行生产,当订单产品以批量运输形式到达之后,随机进行生产排序,且产品加工采用单件流的形式向下一道工序传送,每个产品都经过 m 道工序(也包括只流经而不加工的工序),当所有产品批量加工完后,对订单的响应时间影响最大的产品为时间瓶颈环节,再细分到产品加工的某道工序对订单的批量响应时间影响最大的为时间瓶颈工序环节;找到时间瓶颈环节之后,对产品加工排序进行重新调度,可得到更优的生产计划;现给出一条混流加工生产线如图1所示。

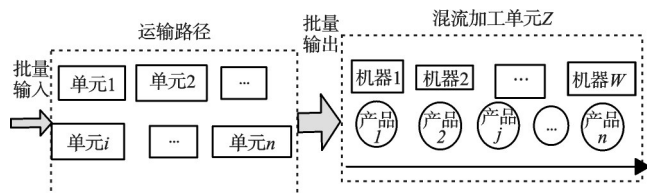


图1 加工车间混流生产模式流程图

图1需要到达的目的地为加工单元 Z ,设定运输单元的运输时间定义为产品从上一加工单元 $Z-1$ 运送到下一加工单元 Z 所经过的最短路径时间,且混流加工单元为流线型生产线(即直线型或U型线),工序于工序之间传递时间(单件流动)忽略不计。综上由运输单元和混流加工单元构成的生产物流过程,分别对运输单元和加工单元的时间瓶颈进行辨识,并最终建立以最大批量响应时间最小化为优化目标的加工车间调度模型。

1.1 加工车间的时间瓶颈确定

1.1.1 加工单元时间瓶颈确定

假设有一个包含 n 个产品品种的订单和一个 m 道工序的混流生产线: M_j 为第 j 个品种的加工批量, $j=1,2,\dots,n$; st_j^i 为第 j 品种单位产品在 i 工序上的加工时间, $i=1,2,\dots,m$; T_j 为第 j 品种单位产品在生产线上各工序中的最大加工时间, $T_j = \max\{st_j^i\}$; LT_j 为第 j 个品种的生产提前期; Q_{wip} 为在制品。本研究设定提前期为加工周期,而且假定单个的产品品种将以一个批量进行加工和传送。因此,可以得到第 j 个品种在单独进行工序 j 加工时的提前期和在制品表示为:

$$LT_j^i = st_j^i + st_j^i(M_j - 1) = st_j^i \cdot M_j \quad (1)$$

$$WIP_j^i = M_j$$

那么第 j 个品种完成所有工序的提前期和在制品表示为:

$$LT_j = \sum_{i=1}^m st_j^i \cdot M_j \quad (2)$$

$$WIP_j = \sum_{i=1}^m WIP_j^i \quad (3)$$

为了使问题不至于太复杂并遵循JIT的思想,现本研究作如下假设:①以加工批量1进行加工,也就是单件流的JIT加工模式;②生产方式为离散式;③设订单的 n 个品种以流水加工的模式都经过 m 道工序(包括仅经过但并不加工的工序);④初始加工顺序按照既定的方案来加工。

参数说明如下: S_{ij} 为第 j 个品种第 i 道工序的开工时间; F_{ij} 为第 j 个品种第 i 道工序的完工时间; $gr_{l,k}^i$ 为第 i 道工序上品种 l 转换成品种 k 时的准备时间; $GR_{l,k}$ 为整个加工过程中品种 l 转换成品种 k 的准备时间最大值,即 $GR_{l,k} = \max\{gr_{l,k}^i\}$ 。

因此,产品每个品种的开始和完工时间分别表示如下:

第1个品种开工时间: $S_{1,1} = 0$ 。

第1个品种的完成时间为:

$$F_{m,1} = \sum_{i=1}^m st_1^i + T_1(M_1 - 1) \quad (4)$$

第2个品种开始时间为:

$$S_{1,2} = \sum_{i=1}^m st_1^i + T_1(M_1 - 1) + GR_{1,2} + T_2 - \sum_{i=1}^m st_2^i \quad (5)$$

第2个品种的完工时间为:

$$\begin{aligned} F_{m,2} &= \sum_{i=1}^m st_1^i + T_1(M_1 - 1) + GR_{1,2} + T_2 - \sum_{i=1}^m st_2^i + \\ &\sum_{i=1}^m st_2^i + T_2(M_2 - 1) = \\ &\sum_{i=1}^m st_1^i + T_1(M_1 - 1) + GR_{1,2} + T_2 \cdot M_2 \end{aligned} \quad (6)$$

以此类推,可得到第 j 个品种的开始和完工时间为:

$$\begin{aligned} S_{1,j} &= F_{m,j-1} + GR_{j-1,j} + T_j - \sum_{i=1}^m st_j^i = \sum_{i=1}^m st_1^i - T_1 + \\ &\sum_{l=2}^j GR_{l-1,l} + \sum_{l=1}^{j-1} T_l \cdot M_l + T_j - \sum_{i=1}^m st_j^i \quad j=2, \dots, n \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} F_{m,j} &= C_{m,1} + \sum_{l=2}^j GR_{l-1,l} + \sum_{l=1}^j T_l \cdot M_l = \sum_{i=1}^m st_1^i - T_1 + \\ &\sum_{l=2}^j GR_{l-1,l} + \sum_{l=1}^j T_l \cdot M_l \quad j=1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (8)$$

最后,第 n 个品种的完工时间(此时订单已完成)为:

$$\begin{aligned} F_{m,n} &= \sum_{i=1}^m st_1^i + T_1(M_1 - 1) + \sum_{l=2}^n GR_{l-1,l} + \sum_{l=1}^n T_l \cdot M_l = \\ &\sum_{i=1}^m st_1^i - T_1 + \sum_{l=2}^n GR_{l-1,l} + \sum_{l=1}^n T_l \cdot M_l \quad j=1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (9)$$

因此得到加工单元订单产品最大响应时间 CT_M 为:

$$CT_M = \max \left\{ \sum_{i=1}^m st_1^i - T_1 + \sum_{l=2}^n GR_{l-1,l} + \sum_{l=1}^n T_l \cdot M_l \right\} \quad (10)$$

$i=1, 2, \dots, n; \quad j=1, 2, \dots, m$

$T_{BN} = \max_i \{st_j^i\}$ 即为时间瓶颈环节,也就是 $T_{BN} = \max T_l$; st_l^i 和 M_l 均为常量。

1.1.2 运输单元时间瓶颈确定

运输时间按照单元间的批量运输时间来计算,一次性运输下一个加工单元所需的产品品种数和数量。现假设从出发点 I 需要经过 a 个加工单元才能到达输出点 O (即目标加工单元);为了简化模型,对于每一个加工单元规定: I 点和 O 点分别位于单元矩形每条边的 $1/2$ 处,且两点均为对边位置,那么进出口位置只有两种情况;引入一组决策变量 (I_v, O_v) 来简化表达,即:

$$(I_v, O_v) = \begin{cases} (1, 1), & //O \text{ 点位于单元 } v \text{ 两个对应的长边} \\ & \text{(上下或左右)} \\ (0, 0), & //O \text{ 点位于单元 } v \text{ 两个对应的短边} \\ & \text{(左右或上下)} \end{cases}$$

单个加工单元的布局只有两种位置,横放和竖放两种方式。

参数设计如下:

设有 a 个单元数, $v=1, 2, \dots, a$; v, w 均表示单元号; l_{vw} 表示单元 v 到下一个单元 w 的物流量的大小; d_{vw} 表示从单元 v 到单元 w 的物流运输距离; (x_{vu}, y_{vu}) 和 (x_{vd}, y_{vd}) 分别表示每个单元的左上角和右下角在空间的坐标;设矩形布局平面的长、宽分别为 W 和 H ;那么对应的单元长、宽分别为 w_v 和 h_v ;最后设定 r_v^u 和 r_v^d 分别为单元 v 长宽比的最大值和最小值,且 $r_v = \max(w_v, h_v) / \min(w_v, h_v)$;假定运送到混流加工单元的 $n(i=1, 2, \dots, n)$ 个订单品种每个品种单独进行批量运输,因为同为一个系列的产品,因此相似性很高,所以考虑用同样的运输工具进行运输,运输路径也是一样的,设运输速度为常量 v_p ,每个品种的运输批量为 $[Q_i](i=1, 2, \dots, n)$ 。那么总的运输距离表示为:

$$L = \sum_{v=1}^a \sum_{w=1, w \neq v}^a l_{vw} d_{vw} \quad (v=1, 2, \dots, a; w=1, 2, \dots, a) \quad (11)$$

而运输量 l_{vw} 的大小可以计算为 $l_{vw} = \sum_{j=1}^n Q_j$ ($j=1, 2, \dots, n$),那么式(11)改写为:

$$L = \sum_{v=1}^a \sum_{w=1, w \neq v}^a \left(\sum_{j=1}^n Q_j \right)_{vw} d_{vw} \quad (12)$$

物流距离 d_{vw} 根据无向图路径表示为:

$$d_{vw} = w(p) \quad (13)$$

那么订单的 n 品种一次批量经由出发单元到达加工单元所用的运输时间的数学表达式为:

$$CT_L = \frac{L}{v_p} = \frac{\sum_{v=1}^a \sum_{w=1, w \neq v}^a \left(\sum_{j=1}^n Q_j \right)_{vw} d_{vw}}{v_p} \quad (14)$$

$v=1, 2, \dots, a; w=1, 2, \dots, a; j=1, 2, \dots, n$

对于每两个单元 v 到 w 的运输距离 d_{vw} 可以根据无向图的方法求得,假设起点和终点分别为距离进出口最近的加工单元。一般情况下运输批量和加工批量大小成倍数关系,特别是在时间瓶颈环节,它的加工批量比较大,为了不产生过多的在制品,因此对应的运输批量比较小。一般批量也是固定的值,因此批量运输的响应时间跟单元路径 d_{vw} 的选择有很大的关系。即运输单元的时间瓶颈可表示为 $T_{BN} = \max d_{vw} / v_p$ 。

1.2 基于生产物流时间瓶颈的调度模型建立

1.2.1 目标函数的建立

响应时间由运输单元和加工单元两部分组成,根据统计和分析得知^[7-9],产品运输或停滞时间占总时间的90%~95%,而处于加工的纯工艺时间仅占生产周期的5%~10%。因此,将运输时间和加工时间的权重值

ω_1 和 ω_2 分别赋予为 0.9 和 0.1; 那么批量响应时间公式为:

$$\begin{aligned} \min CT = & \min(\omega_1 CT_L + \omega_2 CT_M) = \\ & \omega_1 \min \frac{\sum_{v=1}^a \sum_{w=1, w \neq v}^a (\sum_{j=1}^n Q_j) d_{vw}}{v_p} + \\ & \omega_2 \min \max \{ \sum_{i=1}^m st_1^i - T_1 + \sum_{l=2}^n GR_{l-1,l} + \sum_{l=1}^n T_l \cdot M_l \} \\ & i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; l = 1, 2, \dots, n; \\ & v = 1, 2, \dots, a; w = 1, 2, \dots, a \end{aligned} \quad (15)$$

1.2.2 约束条件

(1) 运输时间约束条件为:

$$(x_{vu} - x_{vd})(x_{vd} - x_{vu}) > 0; \forall v, w \quad (16)$$

$$(y_{vu} - y_{vd})(y_{vd} - y_{vu}) > 0; \forall v, w \quad (17)$$

$$y_{vu} \leq H, y_{vd} \geq 0; \forall v \quad (18)$$

$$x_{vu} \geq 0, x_{vd} \leq w; \forall v \quad (19)$$

$$r_v^d \leq r_v \leq r_v^u; \forall v, w \quad (20)$$

$$I_v \in [0, 1], O_v \in [0, 1]; \forall v \quad (21)$$

式(16, 17)表示任意两个加工单元不重叠; 式(18, 19)表示每个单元不会超出车间平面范围; 式(20)表示单元的长宽比在合理范围内; 式(21)表示决策变量的范围。

(2) 加工时间条件约束为:

$$S_{1,j+1} > S_{1,j}; \forall j \quad (22)$$

$$F_{m,j+1} - F_{m,j} \geq \sum_{i=1}^m st_{j+1}^i; \forall i, j \quad (23)$$

式(22, 23)分别表示每台机器同时只能加工一种品种, 且产品品种加工有先后顺序制约。

2 基于生产物流时间瓶颈的加工车间调度模型求解

根据加工车间调度模型解空间大和复杂性更高的特点^[10], 传统的加权系数法不能很好地解决交货期瓶颈的作业车间调度问题, 因此需要寻求一种优秀的算法对模型求解。混合粒子群算法(Hybrid Particle Swarm Optimization)是近年来求解独立优化问题的优秀算法, 具有良好的全局搜索能力和收敛速度, 针对作业车间调度解空间大的特征, 具有良好的优化效果。

2.1 混合粒子群算法设计

2.1.1 编码和解码设计

编码的设计是非常关键的步骤, 设计的好坏影响着算法性能和搜索效率; 考虑到本研究模型为加权目标和, 因此采用分段编码法, 分别对运输单元和加工

单元进行分段编码, 之后再整合。

(1) 运输单元编码和解码。

运输单元的编码比较复杂, 之前对于最短路径研究多数采用 Dijkstra 解决此类问题; 近年来随着对于 Dijkstra 算法研究的深入, 发现随着节点数的增多, 计算量也非常大, 因此本研究弃用; 运输单元时间模型相对较复杂, 为了保证编码的直观性, 该部分采用分段整数编码法, 即把染色体分成两部分: 第 1 部分表示最短路径的顺序选择, 第 2 部分表示订单的 n 种品种的加工批量; 两基因位置之间没有一一对应的关系; 染色体编码结构如图 2 所示。

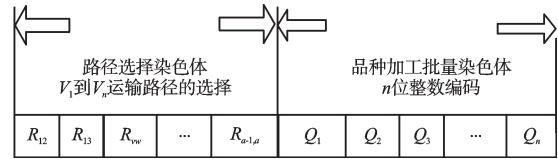


图2 运输单元染色体结构示意图

运输单元染色体的结构组成如图 2 所示, 其中第 1 部分路径选择染色体描述了从出发节点 v_1 到目的地节点 v_a 的最短路径选择的问题, 该部分可采用 0、1 编码的方式, 1 表示最小路径经过节点 v 和 w 之间的路径 r_{vw} , 不经过就为 0; 第 2 部分为 n 个产品品种所要运输的加工批量的大小, 加工批量也采用整数编码方式, 跟路径不同之处在于其基因值的含义, 由于 n 个产品品种为同一订单, 因此它们具有很大的相似性, 其染色体的基因值可以设置为相同。那么得到运输单元的一条完整染色体为 0_1_1...0_20_8_10_..._16。

该部分的解码相对比较简单, 若得到路径的最终染色体为 1_0_1...1, 中间省略号部分均为 0, 那么最短路径即为 $R_{12} + R_{14} + R_{a-1,a}$; 加工批量的基因值代表的就是产品批量实数, 因此不需要赘述。

(2) 加工单元编码与解码。

该模型讨论的前提为在混流流水线上产品以加工批量 1 不间断传送到下个工序且每个产品的加工路线一致(也包括流经而不需要加工的工序), 而订单的 n 个产品品种的投产加工顺序是随机的。为方便编码和解码的说明, 在此设 n 个产品品种和 m 道工序分别为 4 和 4, 该部分采用随机生成产品品种投产顺序的编码方式, 如图 3 所示。

随机染色体顺序如图 3 所示, 每种产品有 4 道工序, 第 1 个 2 表示产品 2 的第 1 道工序开始加工, 以此类推, 第 4 个 2 表示产品 2 的第 4 道工序加工完成; 产品 1、3、4 同样的道理。

因此一条完整染色体表示为 0_1_1...0_20_8_10_..._16_2_2...4_4..._1..._3_3。

解码过程是根据产品染色体的顺序来分配产品

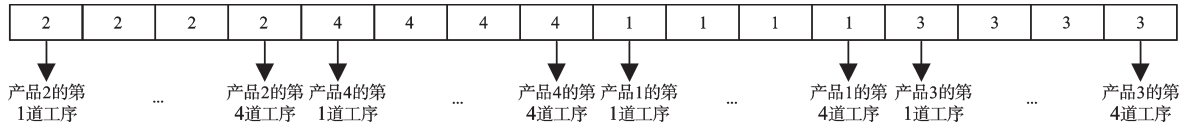


图3 产品投产顺序染色体

投产加工的优先顺序。首先通过基础数据,得到四种产品的加工优先调度表,每种产品的某个工序加工时间最长者为时间瓶颈,解码方法比较普遍,在此不再赘述。

2.1.2 种群初始化

在生成初始解时,从整个搜索空间中获取初始解,从而保证初始解的多样性;之后根据初始种群计算适应值均值和方差,根据均值和方差将初始粒子种群分类进化,如此便克服了PSO算法单一的进化方式,更加确保了粒子群的高质量。假设 $n \times m$ 维粒子表示为:

$$X_i = \begin{bmatrix} x_{11}^i & x_{12}^i & \cdots & x_{1n}^i \\ x_{21}^i & x_{22}^i & \cdots & x_{2n}^i \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1}^i & x_{m2}^i & \cdots & x_{mn}^i \end{bmatrix}$$

初始位置为图1染色体位置,初始速度设为0,种群数为40。

2.1.3 适应度函数

本研究的目标函数为求解最大批量响应时间最小,在此不做改动,直接将其作为适应度函数,即:

$$f(x) = \min CT = \omega_1 \min \frac{\sum_{v=1}^a \sum_{v=1, w \neq v}^a (\sum_{j=1}^n Q_j) d_{vw}}{v_p} + \quad (24)$$

$$\omega_2 \min \max \left\{ \sum_{i=1}^m st_i^i - T_1 + \sum_{l=2}^n GR_{l-1,l} + \sum_{l=1}^n T_l \cdot M_l \right\}$$

2.1.4 适应度值的计算及粒子更新

适应度值的计算直接根据公式(24)计算即可。

混合粒子群算法在粒子群算法更新部分采用粒子分类进化的设计方法;在PSO算法得出全局最优之后,由于PSO算法搜索解的单一性,容易陷入局部最优,因此SA算法在它的基础上继续进行粒子搜索全局最优解的迭代,以一定的概率接受不良解,才能保证粒子快速且多样性的收敛于最优解。

2.1.5 退温操作

根据经验设定初始温度和退火系数分别为: $T_0 = 100^\circ\text{C}$, $\lambda = 0.98$;退火操作公式为:

$$T(t+1) = \lambda T(t) \quad (25)$$

2.1.6 终止条件

若最后达到最大迭代次数200或者降到了最低温度 T_1 为 10°C ,则结束迭代;输出最优解。其他参数为: $c_1 = 2, c_2 = 2, c = c_1 + c_2 = 4, w = 0.9, \text{rand}()$ 为属于 $[0, 1]$ 区

间变化的随机数。

2.2 加工车间调度模型求解流程

本研究根据上文算法步骤分析和设计,对基于时间瓶颈的最大批量响应时间最小的加工车间调度模型进行求解,采用混合粒子群算法的求解流程如图4所示。

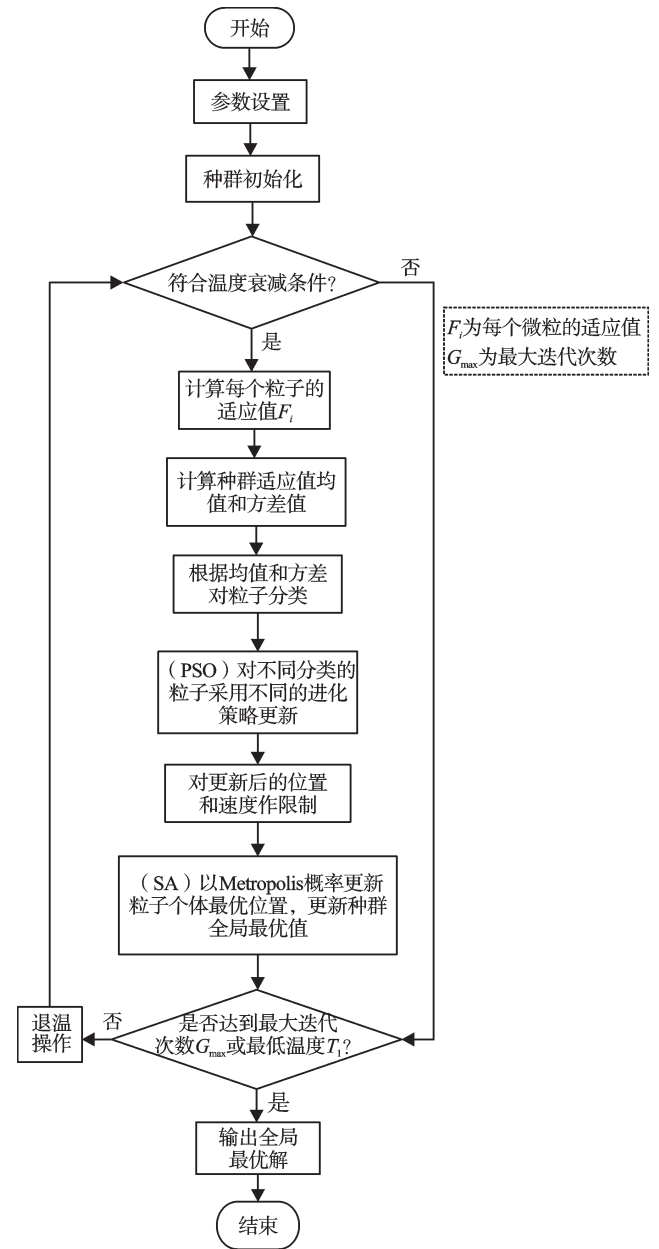


图4 基于SA的混合PSO算法流程图

3 算例验证及算法性能评价

由于本研究以最大批量响应时间最小为优化目标,而基于生产物流时间瓶颈的加工车间调度模型的

研究却较少。因而直接采用本研究设定的目标函数和约束条件,以 Matlab7.0.1 为算法的软件编程平台,分别采用混合粒子群算法(HPSO),标准粒子群算法(PSO)对提出的基于时间瓶颈的混流生产模式下加工车间调度模型进行求解,以验证建立的模型和提出的算法的有效性。最后,本研究选取生产电器装置的某公司某加工车间为研究对象,以验证调度模型的有效性。

3.1 参数的确定

3.1.1 加工车间

将订单的零件加工车间的一部分环节抽象成混流生产方式下的加工车间,其中需要调度的生产产品资源共6种,分别为 N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 、 N_5 、 N_6 。该订单主要生产插座,6种产品的工艺流程大致相同,每个产品的生产均采用单件流的传递方式。6个产品最多需要生产13道工序;具体为:放金工件、上铜螺钉、……入袋封口。各产品的加工批量为80件,每道工序的加工顺序和加工时间如表1所示。

表1 各产品加工信息表(单位:s)

产品 工序	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6
M_1	1,3.6	1,3.6	1,2.0	1,3.6	1,3.0	1,3.6
M_2	2,3.6	2,3.6	2,4.0	2,3.6	2,4.0	2,3.6
M_3	3,3.5	3,3.5	3,1.5	3,3.5	3,4.0	3,3.5
M_4	4,3.5	4,3.5	4,4.0	4,3.5	4,4.0	4,3.5
M_5	5,3.5	5,3.5	5,3.0	5,3.5	5,4.0	5,3.5
M_6	6,3.6	6,3.6	6,4.0	6,3.6	6,3.5	6,3.6
M_7	7,3.0	7,3.0	7,4.0	7,3.0	-	7,3.0
M_8	-	-	8,4.0	-	-	-
M_9	-	-	9,4.0	-	-	-
M_{10}	-	-	10,3.5	-	-	-
M_{11}	11,3.6	11,3.6	11,3.5	11,3.6	11,3.5	11,3.6
M_{12}	12,1.0	12,1.0	12,1.0	12,1.0	12,1.0	12,1.0
M_{13}	13,3.6	13,3.6	13,3.5	13,3.6	13,3.5	13,3.6
总计	32.5	32.5	42	32.5	30.5	32.5

注:逗号前为工序加工顺序;逗号后为工序加工时间, s。

由该车间2011年下半年度的实际加工情况可知:6种产品 N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 、 N_5 、 N_6 每天的平均产量为8 000件、8 000件、7 200件、8 000件、7 200件、8 000件,因此6个品种的生产数量比例大致为1:1:1:1:1:1,因此这里设定 N_1 、 N_2 、 N_3 、 N_4 、 N_5 、 N_6 的生产任务均为8 000件,6种产品需要加工的批次均为100批。因此,以其最小生产循环作为调度研究的对象,产品1到6均1批,共6批产品。

3.1.2 运输单元

现假设加工单元的上一运输环节需要经过5个加

工单元才能到达,且每任意两个进出口采用运输网络的无向图路段节点表示方法,表示为 v_1 、 v_2 、 v_3 、 v_4 、 v_5 ,同一批订单的产品运输批量和路径应该是一样的,因此按照每小时运输一次,设定运输批量为1 000件。首先给出各加工单元间的物流量,如表2所示。

表2 单元间物流量

制造单元	MC_1	MC_2	MC_3	MC_4	MC_5
MC_1	0	0	48	40	151
MC_2	0	0	0	0	0
MC_3	48	0	0	120	76
MC_4	40	0	120	0	96
MC_5	151	0	76	96	0

可得到任意两个I/O点之间的最短路径(即最短距离)如表3所示。

表3 I/O点之间的最短路径(最短距离 单位:m)

O点 I点	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5
v_1	-	13	3	10(v_6)	5
v_2	13	-	10	9(v_6)	7
v_3	3	10	-	9(v_6)	2
v_4	10(v_6)	9(v_6)	9(v_6)	-	5(v_6)
v_5	5	7	2	5(v_6)	-

注:表中(v_6)表示从I到O需要经过 v_6 点,没有则表示直达。

由表3和公式(13)可得到任意两进出口所对应的运输距离,如表4所示。

表4 任意两进出口对应的运输距离(单位:m)

O点 I点	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5
v_1	-	78 000	18 000	60 000(v_6)	30 000
v_2	78 000	-	60 000	54 000(v_6)	42 000
v_3	18 000	60 000	-	54 000(v_6)	12 000
v_4	60 000(v_6)	54 000(v_6)	54 000(v_6)	-	30 000(v_6)
v_5	30 000	42 000	12 000	30 000(v_6)	-

随机生成一条路径为运输路径,假设选择从 v_3 到 v_5 的这条路径。得到6种产品对应的总的运输距离为12 000 m,加工单元运输速度按照车间内最高叉车运输速度来设定,为20 km/h;那么运输单元的最短批量运输时间可以由公式(14)求得为0.6 h;当第1个产品到达混流加工车间时,开始对需要生产的产品进行调度。

3.2 模型仿真及结果分析

在没有干扰的情况下,随机得到初始调度。假设从产品1到产品6顺次投产,每个产品均生产80件,得到当前最优调度甘特图,各实例甘特图中时间单位均为秒,如图5所示。

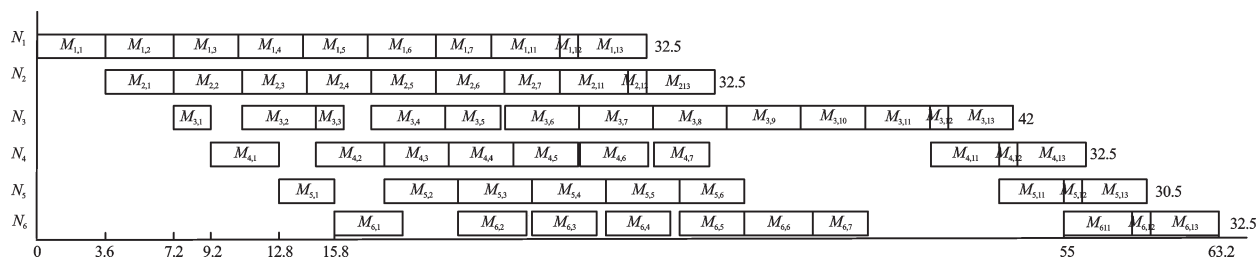


图5 初始调度甘特图

图5得到了6种产品按1:1:1:1生产下的甘特图,总的生产周期为63.2 s;由甘特图可以看出,产品3的工序 $M_{3,8}$ 、 $M_{3,9}$ 和 $M_{3,10}$ 成为阻碍批量响应时间最小的

时间瓶颈环节;因此在辨识出时间瓶颈的基础上,需要对其进行优化,对计划进行重新调度,得到的最优调度,如图6所示。

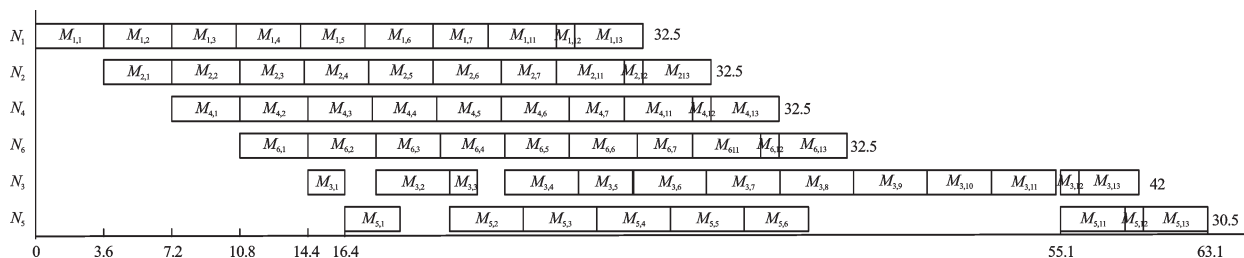


图6 最优调度甘特图

由图6可知:总的批量生产周期时间为63.1 s,虽然总的响应周期优化幅度不是很大,但产品3所产生的时间瓶颈得到了优化,整个生产线的流程相对于初始调度更加平衡,人员和设备避免了由不准确调度而产生的浪费。而流程总的响应时间得不到大幅度压缩的原因是由于产品3的流程跟同类型的其他产品流程出入比较大,因此可以考虑在成本不是很大的情况下优化该产品流程或者重新设置专门的加工单元,这样更有利于其他产品的流线型生产。由此可以看出基于时间瓶颈环节的辨识,该调度模型不仅能够很好的在辨识出时间瓶颈环节的同时,也能够很好的对最优生产计划进行调度。因此验证了该模型的有效性。

3.3 算法运行结果及性能评价

通过已设计的混合粒子群算法和 Matlab 仿真运行平台,得到的仿真收敛图如图7所示。

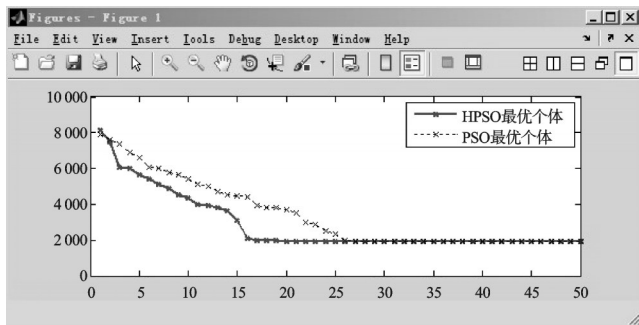


图7 最优解收敛图

由图7分析可知:HPSO算法在前期的收敛速度比PSO算法收敛速度来的快;且PSO算法一直在最优值附近搜索,也就是陷入了局部最优;随着优化过程的

进行,HPSO算法粒子更新方式和模拟退火算法的Metropolis准则越来越体现优越性,不仅提供了更广泛的粒子更新空间,而且提高了粒子群体质量,优化了算法的调度结果。当HPSO迭代到第20代时,优化计算的数值变化幅度逐渐变小趋于稳定,最终收敛得到全局最优解;运输单元和加工单元对应的最优目标为2 160 s和63.1 s,订单产品的最大批量响应时间最小值为2 223.1 s。

4 结束语

针对加工车间最大批量响应时间最小化为优化目标,本研究采用混合粒子群算法,展开了具有生产物流时间瓶颈的加工车间调度问题的研究。给出了加工单元和运输单元的生产物流时间瓶颈确定方法,建立了基于时间瓶颈的加工车间调度模型;根据基于时间瓶颈的车间调度模型解空间大的特点,建立了基于SA算法的混合PSO算法,该算法不仅具有跳出局部最优的特点而且收敛速度快;应用仿真对车间进行调度模拟,分别采用PSO和PSO-SA对提出的加工车间调度模型求解,研究结果表明,PSO-SA算法求解效率高且算法的稳定性好,验证了PSO-SA算法的广泛性。

参考文献(References):

- [1] 陈杰,陈栋,马义中. 基于约束理论的混流生产调度研究[J]. 中国机械工程,2007,18(20):2433-2438.
- [2] 赵伟,韩文秀,罗永泰. 准时生产方式下混流装配线的调度问题[J]. 管理科学学报,2000,3(4):23-28.

(下转第383页)

出和显示。本研究通过选取LabVIEW9.0的“Functions→Mathematics→Formula Palette→Matlab Script”节点来调用已经编写的Matlab程序。在使用Script节点法时须注意Matlab脚本节点内外数据类型的匹配,否则在LabVIEW运行时将会产生错误。

现考虑在无外励磁前提下的系统响应。本研究先对采集系统进行相应的配置,采用固定数值控制方式,将切换数值设定为0 V和6.5 V,采样率设置为1 000,将控制信号 V_{set} 、磁控电流 I_c 以及磁控电压 V_{dc} 加入DAQmx任务。研究者运行LabVIEW程序,手动点击切换按钮,通过实时监控界面可以观看到经过滤波分析处理后的电抗器电压电流变化情况,数据波形如图6所示。

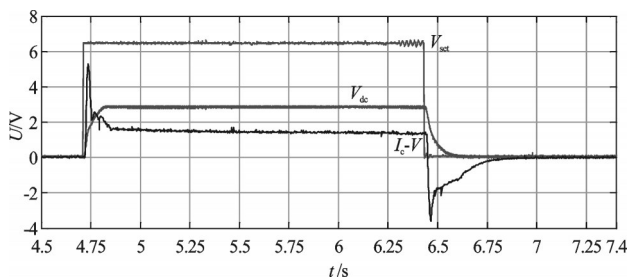


图6 数据波形

由图6可以分析出:控制信号 V_{set} 切换过程中电抗器的响应时间约为120 ms,通过对存储数据的进一步分析,可以得出电抗器系统的精确响应速度及性能,从而为设计过程提供更为充分的依据。

4 结束语

本研究利用LabVIEW的数据采集处理功能以及简便、友好的设计语言构建了基于磁控电抗器的监控测试界面,考虑到外界存在的噪声以及LabVIEW自身的滤波处理模块可能无法满足需求,本研究使用Lab-

VIEW与Matlab混合编程方法,通过Matlab Script节点来调用Matlab下编写的自适应滤波函数以实现对外采集信号中外界干扰的滤除,并得到了较好的结果,很好地显示了磁控电抗器内部参数的变化情况以及对励磁反应时间的确定,为磁控电抗器设计性能的评定提供了充分依据。

参考文献(References):

- [1] 朱 昱. 电力系统静止无功补偿技术的现状及发展[J]. 电力电容器,2001(4):31-34.
- [2] 朱桂萍,王树民. 电能质量控制技术综述[J]. 电力系统自动化,2002,26(19):28-31.
- [3] 葛锁良,袁业剑,于敏华. 一种新型可连续调节的无功补偿装置[J]. 电力自动化设备,2011,31(11):100-102.
- [4] 石有计. 磁控电抗器对特高压输电线路工频过电压的抑制作用[J]. 电力建设,2011(5):26-29.
- [5] 纪延超,魏晓霞. 可控电抗器现状及其发展[J]. 电气应用,2006,25(4):1-4.
- [6] 闫新中,曹 军. 新型电容式自动调谐消弧线圈的分析与设计[J]. 变压器,2003,40(10):32-35.
- [7] ARTHUR J H, SEXTON M R. LabVIEW Application: Energy Laboratory Upgrade[C]//Proceedings of the 2005 American Society for Engineering Education (ASEE). Annual Conference & Exposition. Portland: [s.n.], 2005.
- [8] JAMA R, WENZEL L. The Applicability of the Visual Programming Language LabVIEW to Large Real-world Applications[C]//11th International IEEE Symposium on Visual Languages. Darmstadt: [s.n.], 1995:99-106.
- [9] 曹李农,李志强,胡克佳,等. 基于LabVIEW的工业汽轮机仿真及测试系统[J]. 机电工程,2008,25(12):15-18.
- [10] 宋振华,黄松和. 基于Matlab的缆索起重机承重包络线的仿真[J]. 机械,2012,39(5):4-6.
- [11] 徐 何,李 滔,李 勇. Matlab与LabVIEW混合编程方法应用研究[J]. 科学技术与工程,2010,33(10):8267-8271.

[编辑:李 辉]

(上接第379页)

- [3] 李修琳,鲁建厦,柴国钟,等. 基于混合遗传算法的混流混合车间协同调度问题[J]. 中国机械工程,2012,23(8):935-940.
- [4] 叶 明. 多级混流生产线动态调度系统关键技术研究与应用[D]. 南京:南京航空航天大学机电学院,2007.
- [5] ROSER C, NAKANO M, TANAKA M. A Practical Bottleneck Detection Method[C]. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, Arlington, 2001:949-953.
- [6] 左 燕,谷寒雨,席裕庚. 大规模流水线调度的瓶颈分解算法研究[J]. 控制与决策,2006,21(4):425-429.
- [7] 郑永前,张 锦,王伟有. 自适应粒子群算法的制造单元

集成布局方法[J]. 工业工程与管理,2010,15(6):58-67.

- [8] 邵庆路,罗 欣,杨叔子. 基于蚂蚁算法的混流车间动态调度研究[J]. 计算机集成制造系统,2003,9(6):456-457.
- [9] 林献坤,李爱平,陈炳森. 混合粒子群算法在混流装配线优化调度中的应用[J]. 工业工程与管理,2006,1(4):53-57.
- [10] 田志友,田 澎,王浣尘. 混流装配线调度问题的离散粒子群优化解[J]. 工业工程与管理,2005,6(7):8-11.

[编辑:张 翔]