



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103996080 B

(45)授权公告日 2018.01.09

(21)申请号 201410239088.2

G06Q 50/04(2012.01)

(22)申请日 2014.05.30

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103996080 A

US 6349237 B1,2002.02.19,
CN 102081706 A,2011.06.01,
CN 102385364 A,2012.03.21,

(43)申请公布日 2014.08.20

王晓晴等.基于分散搜索的零部件跨单元生产的单元管理方法.《机械工程学报》.2009,第45卷(第10期),

(73)专利权人 北京理工大学
地址 100081 北京市海淀区中关村南大街5号

徐晓栋等.基于遗传算法的有柔性路径的动态调度问题研究.《上海理工大学学报》.2005,第27卷(第6期),

(72)发明人 王国新 杜景军 阎艳 王孟超
鲍衍地

江钊广.面向可重构制造系统的工艺规划方法研究.《中国机械工程》.2010,第21卷(第4期),第430-436页.

(74)专利代理机构 北京理工大学专利中心
11120

审查员 田梅靖

代理人 仇蕾安

(51)Int.Cl.

G06Q 10/04(2012.01)

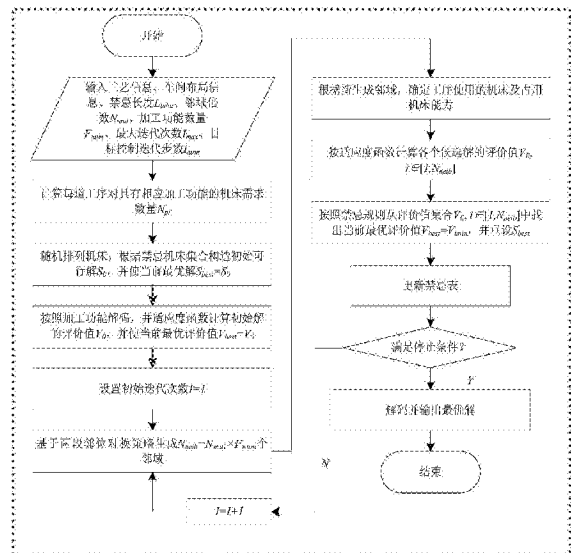
权利要求书3页 说明书8页 附图2页

(54)发明名称

一种具有最大联通性的制造系统构型优化方法

(57)摘要

本发明提供了一种保证机床加工功能具有最大联通性的制造系统构型优化方法,解决现有技术中不能同时具有制造系统的大批量生产能力和柔性化生产能力的问题。步骤一、获取工艺相关信息;步骤二、根据工艺相关信息中的工件之间的加工功能、加工时间、加工批量构建相似性工件族;步骤三、将工件在车间内的加工按照加工功能进行编码;步骤四、随机排列机床,生成编码方案,解码为初始可行解,并将其设为当前最优解;步骤五、按照两段邻位对换的策略生成当前最优解的可行解邻域;步骤六、计算邻域中所有可行解的评价值;步骤七、按照禁忌规则从邻域中选择一个解为当前最优解;步骤八、判断当前最优解是否为全局最优解。



1. 一种具有最大联通性的制造系统构型优化方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一、获取工艺相关信息;

步骤二、根据工艺相关信息中的工件之间的加工功能、加工时间、加工批量构建相似性工件族;

步骤三、根据步骤二中构建的相似性工件族,将工件在车间内的加工按照加工功能进行编码;

步骤四、随机排列机床,生成编码方案,解码为初始可行解,得到步骤二中所述相似性工件族在车间中的加工方案,并将其设为当前最优解;

步骤五、按照两段邻位对换的策略生成当前最优解的可行解邻域;

步骤六、计算邻域中所有可行解的评价值;

步骤七、基于步骤六得到的可行解的评价值,按照禁忌规则从邻域中选择一个解为当前最优解;

步骤八、判断步骤七选出的当前最优解是否为全局最优解,如果由步骤七选出的当前最优解是全局最优解,则将其解码并输出,不是则转到步骤五。

2. 如权利要求1所述的一种具有最大联通性的制造系统构型优化方法,其特征在于,其中步骤一中所述的工艺相关信息,包括工件族中包含的工件数量及种类、工件使用的加工功能种类、每道工序使用机床的数量、每台机床所具有的加工功能、车间内机床布局。

3. 如权利要求1或2所述的一种具有最大联通性的制造系统构型优化方法,其特征在于,其中步骤二中所述的构建相似性工件族采用以下方法:

步骤1:根据式(1)得到任意两个工件之间的加工功能相似性系数 P_{pq} ,进而得出一批工件的加工功能相似性矩阵;

$$P_{pq} = N_{pq} / (N_{pq} + b + c) \quad (1)$$

其中, N_{pq} 是工件p和工件q使用相同加工功能的工序数量,b是只有工件p使用的加工功能的工序数量,c是只有工件q使用的加工功能的工序数量;

步骤2:根据式(2)和式(3)计算工件p和工件q使用相同加工功能的加工时间的相似性系数 P_{pqj} 及相似性系数 P_{pqj} 的均值 T_{ipq} ,进而得出一批工件的其它评价指标的相似性矩阵;

$$T_{ipq} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{pq}} P_{pqj}}{N_{pq}} \quad (2)$$

$$P_{pqj} = \begin{cases} \frac{T_{pqj_{min}}}{T_{pqj_{max}}}, & T_{pqj_{max}} \text{ 不为0} \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

其中, N_{pq} 为工件p和工件q使用相同加工功能的工序数量, $T_{pqj_{min}}$ 为两个工件使用相同加工功能的工序中最小的评价指标, $T_{pqj_{max}}$ 为两个工件使用相同加工功能的工序中最大的评价指标;

步骤3:将除加工功能相似性外的其它评价因素采用式(4)以线性加权的方式合并在一起;

$$T_{pq} = \sum_{i=1}^{N_F} \alpha_i T_{ipq} \quad (4)$$

其中, T_{pq} 为工件p和q的其它指标综合相似性指数, N_F 为除加工功能外的其它相似性评价指标的数量, α_i 为第i个评价指标的影响系数, T_{ipq} 是相似性系数 P_{pqj} 的均值;

步骤4:采用式(5)将加工功能相似性系数与其它指标相似性系数相乘得到综合相似性指数,并构建综合相似性系数矩阵;

$$S_{pq} = P_{pq} \times T_{pq} \quad (5)$$

步骤5:从综合相似性矩阵 S_{pq} 中选出最大的元素,将相应的工件结成新的工件族;

步骤6:采用式(6)得到新构建的工件族与其它工件族的相似性指数 S_{kl}^f ;

$$S_{kl}^f = \frac{\sum_{p \in k} \sum_{q \in l} S_{pq}}{N_k \times N_l} \quad (6)$$

其中 S_{kl}^f 是新构建的工件族k与其它工件族l的相似性指数, N_k 和 N_l 分别是新构建的工件族和其它工件族所包含的工件数量;

步骤7:如果工件族内工件达到最大工件数量限制,则此工件族不再参与新工件族的构建,如果最后只有一个工件族,则停止构建新的工件族,否则,重复步骤5到步骤6。

4.如权利要求1或2所述的一种具有最大联通性的制造系统构型优化方法,其特征在于,其中步骤四中所述的解码为初始可行解采用以下方法:首先对具有相同加工功能的机床集合进行随机排列,然后按照禁忌机床表对机床序列按照先后顺序进行调整,使每个机床序列中的需求机床没有在禁忌机床表中出现,其中禁忌机床表是把每次对机床序列调整后的可行机床序列组合在一起而形成的集合,经过调整之后的机床序列能够满足约束条件,为可行解。

5.如权利要求1或2所述的一种具有最大联通性的制造系统构型优化方法,其特征在于,其中步骤五中所述的生成当前最优解采用以下方法:

步骤1:设需求机床数量为n,则从当前机床集合中选取前n+1个没有被禁忌的机床及移动方向和移动元素;

步骤2:从选取的移动元素中选出最大的元素 E_{max} ;

步骤3:在选取的机床集合中,若对应的移动方向向左,且不是第一个元素,则将 E_{max} 、移动方向和机床,与左边的移动元素、移动方向和机床对换;若对应的移动方向向右,且不是最后一个元素,则将 E_{max} 、移动方向和机床,与右边的移动元素、移动方向和机床对换;转至步骤8;

步骤4:若对应的移动方向向左,且是第一个元素,或者对应的移动方向向右,且是最后一个元素,则被标识为不可移动;

步骤5:从选取后的移动元素中选出次大的元素 E_{minor} ;

步骤6:若对应的移动方向向左,且左边元素没有被标记为不可移动,则将 E_{minor} 、移动方向和机床,与左边的移动元素、移动方向和机床对换;或者对应的移动方向向右,且右边元素没有被标记为不可移动,则将 E_{minor} 、移动方向和机床,与右边的移动元素、移动方向和机床对换;

步骤7:若对应的移动方向向左,且左边元素被标记为不可移动,或者对应的移动方向向右,且右边元素被标记为不可移动,则也被标识为不可移动,转至步骤5;

步骤8:将新选取的机床集合与未选取的机床集合按照顺序重新组合生成新的邻位对换表;

步骤9:根据需要的邻域元素数量 N ,重复 N 次步骤1-8,生成当前解的 N 个邻域。

一种具有最大联通性的制造系统构型优化方法

技术领域

[0001] 本发明属于先进制造领域,特别涉及一种保证机床加工功能具有最大联通性的制造系统构型优化方法。

背景技术

[0002] 面对激烈地全球化市场竞争与动态多变的客户需求,传统制造业面临着如何快速响应市场需求的巨大挑战。传统的刚性制造系统能通过大批量生产提高效益,它是专门针对某一种工件而不是基于变化的生产周期设计的,不具有缩放性和变化性;而对应的柔性制造系统虽然能缩短产品生产周期,但投资过大,系统功能冗余现象比较严重,资本回收期过长,给企业造成很大的成本压力。因此,现代制造企业亟需一种能把刚性生产系统和柔性制造系统的特点充分结合的全新制造系统,从而使制造企业能快速响应市场需求,提高竞争力。

[0003] 针对大批量生产与柔性制造双重特点的制造系统,国内外学者提出了多种先进制造系统,比如综合了信息全能技术的敏捷制造系统、基于合弄概念的合弄制造系统、由智能机器人和人类专家共同构成的智能制造系统、基于生物医学和模拟自然界中生命形态而构造的生物制造系统等等。这些先进的制造系统在不同原理上实现了可重构性,但是很少有从机床功能均匀布局的角度来研究制造系统构形,从这个角度考虑的制造系统构建原理简单,易操作,能够达到预期效果。

[0004] 目前,已经有学者运用不同的方法来研究该问题。在《计算机集成制造系统》发表的《面向订单制造的可重构制造系统中虚拟制造单元构建技术》中提出一种多目标的非线性0-1整数规划模型来研究多种不同交货期订单时的可重构制造单元构建问题,先用启发式方法对非瓶颈设备和工艺处理,然后用分布式平行协同多目标粒子群算法求解最优解集,目标设的较多,从最优解集里选最优解有较大困难。在《South African Journal of Industrial Engineering》上发表的《A hybrid reconfigurable computer-integrated manufacturing cell for the production of mass customised parts》提出将计算机集成制造单元与可重构制造系统技术结合起来,使构建的系统构形同时具有计算机集成制造单元的制造能力和可重构制造系统的特征,从而达到可重构制造单元要求的效果,但是相应的结合技术并不成熟,难以实际应用。在《Simulation》上发表的《Cell formation and scheduling of part families for reconfigurable cellular manufacturing systems using Tabu search》以最小化工件族之间的转换成本和可重构机床的闲置成本为优化目标,采用混合整数线性规划模型同时解决工件族和制造系统构形的构建问题,但是未考虑构形构建之前车间机床布局问题。在《International Journal of Production Research》上发表的《Optimal configuration selection for reconfigurable manufacturing system using NSGA II and TOPSIS》分两阶段优化制造系统构形,先采用非支配排序遗传算法获得非支配解,然后采用一种多属性决策方法选择帕雷托前沿解,这种方法寻找最优构形更有效,但是没有考虑多工件加工路线。

[0005] 以上几种制造系统构型构建方法的共性还在于:其都是在现有机床布局的基础上考虑构建制造系统构型的。车间机床的布局方式对产品生产的组织方式影响很大,如果制造系统构型是在机床加工功能的基础上进行构建的,则可以很大程度地提高制造系统的生产柔性。

发明内容

[0006] 本发明要解决的问题是提供了一种保证机床加工功能具有最大联通性的制造系统构型优化方法,解决现有技术中不能同时具有制造系统的大批量生产能力和柔性化生产能力的问题。

[0007] 为解决上述技术问题,本发明提供了一种具有最大联通性的制造系统构型优化方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤一、获取工艺相关信息;

[0009] 步骤二、根据工艺相关信息中的工件之间的加工功能、加工时间、加工批量构建相似性工件族;

[0010] 步骤三、根据步骤二中构建的相似性工件族,将工件在车间内的加工按照加工功能进行编码;

[0011] 步骤四、随机排列机床,生成编码方案,解码为初始可行解,得到步骤二中所述相似性工件族在车间中的加工方案,并将其设为当前最优解;

[0012] 步骤五、按照两段邻位对换的策略生成当前最优解的可行解邻域;

[0013] 步骤六、计算邻域中所有可行解的评价值;

[0014] 步骤七、基于步骤六得到的可行解的评价值,按照禁忌规则从邻域中选择一个解为当前最优解;

[0015] 步骤八、判断步骤七选出的当前最优解是否为全局最优解,如果由步骤七选出的当前最优解是全局最优解,则将其解码并输出,不是则转到步骤五。

[0016] 其中步骤一中所述的工艺相关信息,包括工件族中包含的工件数量及种类、工件使用的加工功能种类、每道工序使用机床的数量、每台机床所具有的加工功能、车间内机床布局。

[0017] 其中步骤二中所述的构建相似性工件族采用以下方法:

[0018] 步骤1:根据式(1)得到任意两个工件之间的加工功能相似性系数 P_{pq} ,进而得出一批工件的加工功能相似性矩阵;

$$[0019] \quad P_{pq} = N_{pq} / (N_{pq} + b + c) \quad (1)$$

[0020] 其中, N_{pq} 是工件p和工件q使用相同加工功能的工序数量,b是只有工件p使用的加工功能的工序数量,c是只有工件q使用的加工功能的工序数量;

[0021] 步骤2:根据式(2)和式(3)计算工件p和工件q使用相同加工功能的加工时间的相似性系数 P_{pqj} 及工件p和q的第i个其它评价指标相似性系数 T_{ipq} ,进而得出一批工件的其它评价指标的相似性矩阵;

$$[0022] \quad T_{ipq} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{pq}} P_{pqj}}{N_{pq}} \quad (2)$$

$$[0023] \quad P_{pq} = \begin{cases} \frac{T_{pqj_{\min}}}{T_{pqj_{\max}}}, & T_{pqj_{\max}} \text{ 不为0} \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

[0024] 其中, N_{pq} 为工件 p 和工件 q 使用相同加工功能的工序数量, $T_{pqj_{\min}}$ 为两个工件使用相同加工功能的工序中最小的评价指标, $T_{pqj_{\max}}$ 为两个工件使用相同加工功能的工序中最大的评价指标;

[0025] 步骤3: 将除加工功能相似性外的其它评价因素采用式 (4) 以线性加权的方式合并在一起;

$$[0026] \quad T_{pq} = \sum_{i=1}^{N_F} \alpha_i T_{ipq} \quad (4)$$

[0027] 其中, T_{pq} 为工件 p 和 q 的其它指标综合相似性指数, N_F 为除加工功能外的其它相似性评价指标的数量, α_i 为第 i 个评价指标的影响系数, T_{ipq} 是工件 p 和工件 q 的第 i 个其它评价指标相似性系数;

[0028] 步骤4: 采用式 (5) 将加工功能相似性系数与其它指标相似性系数相乘得到综合相似性指数, 并构建综合相似性系数矩阵;

$$[0029] \quad S_{pq} = P_{pq} \times T_{pq} \quad (5)$$

[0030] 步骤5: 从综合相似性矩阵 S_{pq} 中选出最大的元素, 将相应的工件结成新的工件族;

[0031] 步骤6: 采用式 (6) 得到新构建的工件族与其它工件族的相似性指数 S_{kl}^f ;

$$[0032] \quad S_{kl}^f = \frac{\sum_{p \in k} \sum_{q \in l} S_{pq}}{N_k \times N_l} \quad (6)$$

[0033] 其中 S_{kl}^f 是新构建的工件族 k 与其它工件族 l 的相似性指数, N_k 和 N_l 分别是新构建的工件族和其它工件族所包含的工件数量;

[0034] 步骤7: 如果工件族内工件达到最大工件数量限制, 则此工件族不再参与新工件族的构建, 如果最后只有一个工件族, 则停止构建新的工件族, 否则, 重复步骤5到步骤6。

[0035] 其中步骤四中所述的解码为初始可行解采用以下方法: 首先对具有相同加工功能的机床集合进行随机排列, 然后按照禁忌机床表对机床序列按照先后顺序进行调整, 使每个机床序列中的需求机床没有在禁忌机床表中出现, 其中禁忌机床表是把每次对机床序列调整后的可行机床序列组合在一起而形成的集合, 经过调整之后的机床序列能够满足约束条件, 为可行解。

[0036] 其中步骤五中所述的生成当前最优解采用以下方法:

[0037] 步骤1: 设需求机床数量为 n , 则从当前机床集合中选取前 $n+1$ 个没有被禁忌的机床及移动方向和移动元素;

[0038] 步骤2: 从选取的移动元素中选出最大的元素 E_{\max} ;

[0039] 步骤3: 在选取的机床集合中, 若对应的移动方向向左, 且不是第一个元素, 则将 E_{\max} 、移动方向和机床, 与左边的移动元素、移动方向和机床对换; 若对应的移动方向向右, 且不是最后一个元素, 则将 E_{\max} 、移动方向和机床, 与右边的移动元素、移动方向和机床对换; 转至步骤8;

[0040] 步骤4:若对应的移动方向向左,且是第一个元素,或者对应的移动方向向右,且是最后一个元素,则被标识为不可移动;

[0041] 步骤5:从选取后的移动元素中选出次大的元素 E_{minor} ;

[0042] 步骤6:若对应的移动方向向左,且左边元素没有被标记为不可移动,则将 E_{minor} 、移动方向和机床,与左边的移动元素、移动方向和机床对换;或者对应的移动方向向右,且右边元素没有被标记为不可移动,则将 E_{minor} 、移动方向和机床,与右边的移动元素及移动方向和机床对换;

[0043] 步骤7:若对应的移动方向向左,且左边元素被标记为不可移动,或者对应的移动方向向右,且右边元素被标记为不可移动,则也被标识为不可移动,转至步骤5;

[0044] 步骤8:将新选取的机床集合与未选取的机床集合按照顺序重新组合生成新的邻位对换表;

[0045] 步骤9:根据需要的邻域元素数量 N ,重复 N 次步骤1-8,生成当前解的 N 个邻域。

[0046] 本发明的有益效果:

[0047] 1) 建立了构建制造系统构形的相关数学模型;

[0048] 2) 采用基于加工功能并综合考虑加工时间和加工批量因素的相似性方法生成相似性工件族,增强了工件族的可加工性;

[0049] 3) 采用基于加工功能的编码、解码方法,综合采用禁忌机床的方法保证生成的解为可行解,增强了搜索到最优解的效率;

[0050] 4) 采用基于两段邻位对换的方法构造邻域,使邻域内解都为可行解,并达到了所有解的全连通性。

附图说明

[0051] 图1为本发明具体实施方式中具有最大联通性的制造系统构型优化方法流程图;

[0052] 图2为基于加工功能的编码示意图。

具体实施方式

[0053] 下面结合附图对本发明作进一步描述。

[0054] 一、获取车间优化相关信息

[0055] 包括工件族中包含的工件数量及种类,工件使用的加工功能种类,每道工序使用机床的数量,每台机床所具有的加工功能,车间内机床布局。

[0056] 二、相似性工件族生成方法

[0057] 工件族的具体生成步骤如下:

[0058] 步骤1:根据式(1)得到任意两个工件之间的加工功能相似性系数 P_{pq} ,进而得出一批工件的加工功能相似性矩阵。

[0059]
$$P_{pq} = N_{pq} / (N_{pq} + b + c) \quad (1)$$

[0060] 其中, N_{pq} 是工件 p 和工件 q 使用相同加工功能的工序数量, b 是只有工件 p 使用的加工功能的工序数量, c 是只有工件 q 使用的加工功能的工序数量。

[0061] 步骤2:根据式(2)和式(3)计算工件 p 和工件 q 使用相同加工功能的加工时间的相似性系数 P_{pqj} 及工件 p 和 q 的第 i 个其它评价指标相似性系数 T_{ipq} ,进而得出一批工件的其它

评价指标的相似性矩阵。

$$[0062] \quad T_{ipq} = \frac{\sum_{j=1}^{N_{pq}} P_{pqj}}{N_{pq}}; \quad (2)$$

$$[0063] \quad P_{pqj} = \begin{cases} T_{pqj_{\min}}, & \text{工件 } p \text{ 和 } q \text{ 的第 } j \text{ 道工序评价指标都不为 } 0 \\ T_{pqj_{\max}}, & \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

[0064] 其中, N_{pq} 为两个工件 p 和工件 q 使用相同加工功能的工序数量, $T_{pqj_{\min}}$ 为两个工件使用相同加工功能的工序中最小的评价指标, $T_{pqj_{\max}}$ 为两个工件使用相同加工功能的工序中最大的评价指标。

[0065] 步骤3: 将除加工功能相似性外的其它评价因素采用式 (4) 以线性加权的方式合并在一起。

$$[0066] \quad T_{pq} = \sum_{i=1}^{N_F} \alpha_i T_{ipq} \quad (4)$$

[0067] 其中, T_{pq} 为工件 p 和 q 的其它指标综合相似性指数, N_F 为除加工功能外的其它相似性评价指标的数量, α_i 为第 i 个评价指标的影响系数, T_{ipq} 是工件 p 和工件 q 的第 i 个其它评价指标相似性系数。

[0068] 步骤4: 采用式 (5) 将加工功能相似性系数与其它指标相似性系数相乘得到综合相似性指数, 并构建综合相似性系数矩阵。

$$[0069] \quad S_{pq} = P_{pq} \times T_{pq} \quad (5)$$

[0070] 步骤5: 从综合相似性矩阵 S_{pq} 中选出最大的元素, 将相应的工件 (族) 结成新的工件族。

[0071] 步骤6: 采用式 (6) 得到新构建的工件族与其它工件 (族) 的相似性指数 S_{kl}^f 。

$$[0072] \quad S_{kl}^f = \frac{\sum_{p \in k} \sum_{q \in l} S_{pq}}{N_k \times N_l} \quad (6)$$

[0073] S_{kl}^f 新构建的工件族 k 与其它工件族 l 的相似性指数, N_k 和 N_l 分别是新构建的工件族和其它工件族所包含的工件数量。

[0074] 步骤7: 如果工件族内工件达到最大工件数量限制, 则此工件族不再参与新工件族的构建, 如果最后只有一个工件族, 则停止构建新的工件族, 否则, 重复步骤5到步骤6。

[0075] 通过上述考虑加工功能、加工时间、加工批量等因素构建的工件族内部工件之间的加工相似性更强, 根据工件族生成的制造系统构形的重构性也更强。

[0076] 三、工件加工方案的编码和初始解生成

[0077] 以具有相同加工功能的有效机床集合作为解的一个元素, 有效机床是指在加工中实际使用相应加工功能的机床, 所有解的元素共同组成一个解向量。如图2中编码代表的解向量, 其中, 是具有第 x 种加工功能的有效机床集合, 例如在图中 $= \{12 \ 15 \ 1\}$, 虽然机床12、15、1、20、4、7都具有第一种加工功能, 但是只有前三个被阴影标识出来的机床使用第一种加工功能, 这些机床不能再加工其它功能的工件, 未用阴影标识的机床20、4、7是第一种加

工功能的候选机床,如果这些候选机床没有被其它加工功能占用,它们可以代替用阴影标识的机床使用第一种加工功能进行工件加工。

[0078] 在表1中机床提供的加工能力和需要的加工能力满足式(7)的约束关系:

$$[0079] \quad \sum_{x=1}^m C_{ix} = \sum_{y=1}^n C_{iy}, \forall i \in I. \quad (7)$$

[0080] 其中,m是具有第i种加工功能的有效机床数量;n是需要使用第i种加工功能的工序数量;I是车间中所有加工功能的编号集合。

[0081] 将表1中的机床按照既定顺序和工序需求的加工能力分配给其对应的工序,每道工序得到相应的机床和加工能力,从而完成解码。

[0082] 表1基于加工功能的解码

	M_{ix}	C_{ix}	P_{iy}
	M_{i1}	C_{i1}	P_{i1}
[0083]	M_{i2}	C_{i2}	P_{i2}
	M_{i3}	C_{i3}	P_{i3}

[0084]	M_{im}	C_{im}	P_{in}

[0085] 注: M_{ix} 指具有第i种加工功能的机床; C_{ix} 指 M_{ix} 提供的第i种加工功能的加工能力; P_{iy} 指使用第i种加工功能的工序; P_{ix} 指工序 P_{ix} 占用的第i种加工功能的加工能力。

[0086] 四、构造初始可行解。

[0087] 首先对具有相同加工功能的机床集合进行随机排列,然后按照禁忌机床表对机床序列按照先后顺序进行调整,使每个机床序列中的需求机床没有在禁忌机床表中出现,其中禁忌机床表是把每次对机床序列调整后的可行机床序列组合在一起而形成的集合。经过调整之后的机床序列能够满足约束条件,为可行解。

[0088] 五、基于两段邻位对换的邻域结构设计

[0089] 禁忌搜索算法是基于邻域搜索技术的智能优化算法,邻域的构造对算法优化结果具有很大的影响。根据编码特点,将邻域结构设计为分两段的邻位对换方法,邻位对换是指将两个相邻的元素相互交换位置,两段是指将需要进行邻位对换的序列分成两部分,分别对这两部分进行操作。这种结构在充分保证邻域的全连通性的前提下,能有效避免生成不可行解,大大提高了算法的搜索效率。

[0090] 两段邻位对换方案面向的对象是具有相同加工功能的机床集合,如表2所示,共6台机床具有第一种加工功能,分别是{12,5,1,20,4,7},其中现有任务共需要3台具有此种加工功能的机床,分别是{12,5,1},有3台机床暂时不需要,分别是{20,4,7}。除第一种加工功能外的禁忌机床集合为{16,21,22,17,20,3,19,9,6,18,26,22,8,14,13,30,4,2,5,10,11},这些禁忌机床已被其它加工功能占用,根据一台机床在同一时间只能使用一种加工功能的约束条件,这些机床不能再使用第一种加工功能。

[0091] 表2两段邻位对换(对换前)

	需要机床			候选机床		
[0092] 移动方向	←	→	←	←	←	←
移动元素	1	2	3	4	5	6
机床编号	12	5	1	20	4	7

[0093] 构造当前解的邻域的步骤如下：

[0094] 步骤1：设需求机床数量为n，则从当前机床集合中选取前n+1个没有被禁忌的机床（及移动方向和移动元素）。如表3中选取的机床集合为{12,5,1,7}，其中机床20、4都在禁忌机床集合里，已被其它加工功能占用，因此虽然这两台机床排在机床7前面，依然选择机床7进入机床序列进行邻位对换操作。

[0095] 步骤2：从选取的移动元素中选出最大的元素。

[0096] 步骤3：在选取的机床集合中，若对应的移动方向向左，且不是第一个元素，则将（及移动方向和机床）与左边的移动元素（及移动方向和机床）对换。若对应的移动方向向右，且不是最后一个元素，则将（及移动方向和机床）与右边的移动元素（及移动方向和机床）对换。转至步骤8。

[0097] 步骤4：若对应的移动方向向左，且是第一个元素，或者对应的移动方向向右，且是最后一个元素，则被标识为不可移动。

[0098] 步骤5：从选取后的移动元素中选出次大的元素。

[0099] 步骤6：若对应的移动方向向左，且左边元素没有被标记为不可移动，则将（及移动方向和机床）与左边的移动元素（及移动方向和机床）对换。或者对应的移动方向向右，且右边元素没有被标记为不可移动，则将（及移动方向和机床）与右边的移动元素（及移动方向和机床）对换。转至步骤8。

[0100] 步骤7：若对应的移动方向向左，且左边元素被标记为不可移动，或者对应的移动方向向右，且右边元素被标记为不可移动，则也被标识为不可移动，转至步骤5。

[0101] 步骤8：将新选取的机床集合与未选取的机床集合按照顺序重新组合生成新的邻位对换表。则按照上述步骤构造新的邻位对换表如表3所示。

[0102] 步骤9：根据需要的邻域元素数量N，重复N次步骤1~8，生成当前解的N个邻域。

[0103] 表3两段邻位对换（对换后）

	需要机床			候选机床		
[0104] 移动方向	←	→	←	←	←	←
移动元素	1	2	6	4	5	3
机床编号	12	5	7	20	4	1

[0105] 六、适应度函数

[0106] 工件在车间中加工时，两个相邻工序使用机床的距离和加工单元包络所有机床的最小矩形面积的增加对未来生产周期的影响并不是线性的，而是呈现几何级增长。因此在考虑制造系统构形时，分别对工件移动距离和包络所有机床的最小矩形面积平方再求和，

从而在适应度函数中扩大这种影响,其适应度函数如式(8)所示:

$$[0107] \quad f = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N_i} \sum_{k=1}^{P_i-1} \sum_{m=1}^{Q_{ij(k,k+1)}} (\sum_{m=1} \alpha_{ijkm} L_{ijkm})^2 + \sum_{i=1}^M (\sum_{j=1}^{N_i} T_{ij})^2 \quad (8)$$

[0108] 七、禁忌规则

[0109] 禁忌搜索算法通过禁忌一些解,改善一些因素,把算法向解空间中未搜索到的区域引导,禁忌表里面主要包括禁忌对象和禁忌长度。算法里的变形因素是解向量分量的变化,也即把具有相同加工功能的机床有序集合作为禁忌对象。设原有的解向量为:,以解向量的一个分量变化为最基本变化因素,解向量分量的变化是通过两段邻位对换的方法实现的。若具有第*i*种加工功能的机床数量为*p*,有效机床数量为*q* ($q \leq p$),则解向量第*i*个分量的变化可映射最多 $p!/q!$ 个新解。禁忌解分量由到的变化,可以大大减少算法计算时间,提高运算效率。

[0110] 禁忌长度是被禁对象不允许选取的迭代次数。这里取禁忌长度为常量,即 $L_{\text{tabu}} = \lfloor n/3 \rfloor$,其中*n*为车间中加工功能数量。

[0111] 八、判断是否满足终止条件。

[0112] 因为算法中设置的禁忌长度恒小于禁忌对象的数量,所以采用下列特赦规则对禁忌候选解进行解禁:候选解为可行的禁忌解,但是它是算法迭代到目前所发现的最好解,则将其状态解禁,并将其作为当前最优解。

[0113] 设置两种停止规则:(1)最大迭代次数 I_{max} ,迭代次数达到 I_{max} 则强制算法停止;(2)若在给定迭代次数 I_{num} 内最优解无改善,则算法停止。算法运行中满足两条件中的任何一个即停止。

[0114] 若算法达到设定最大迭代次数或在设定迭代次数内最优解无改善,则输出最优解及其评价值,输出历史最优解的收敛图并停止算法。

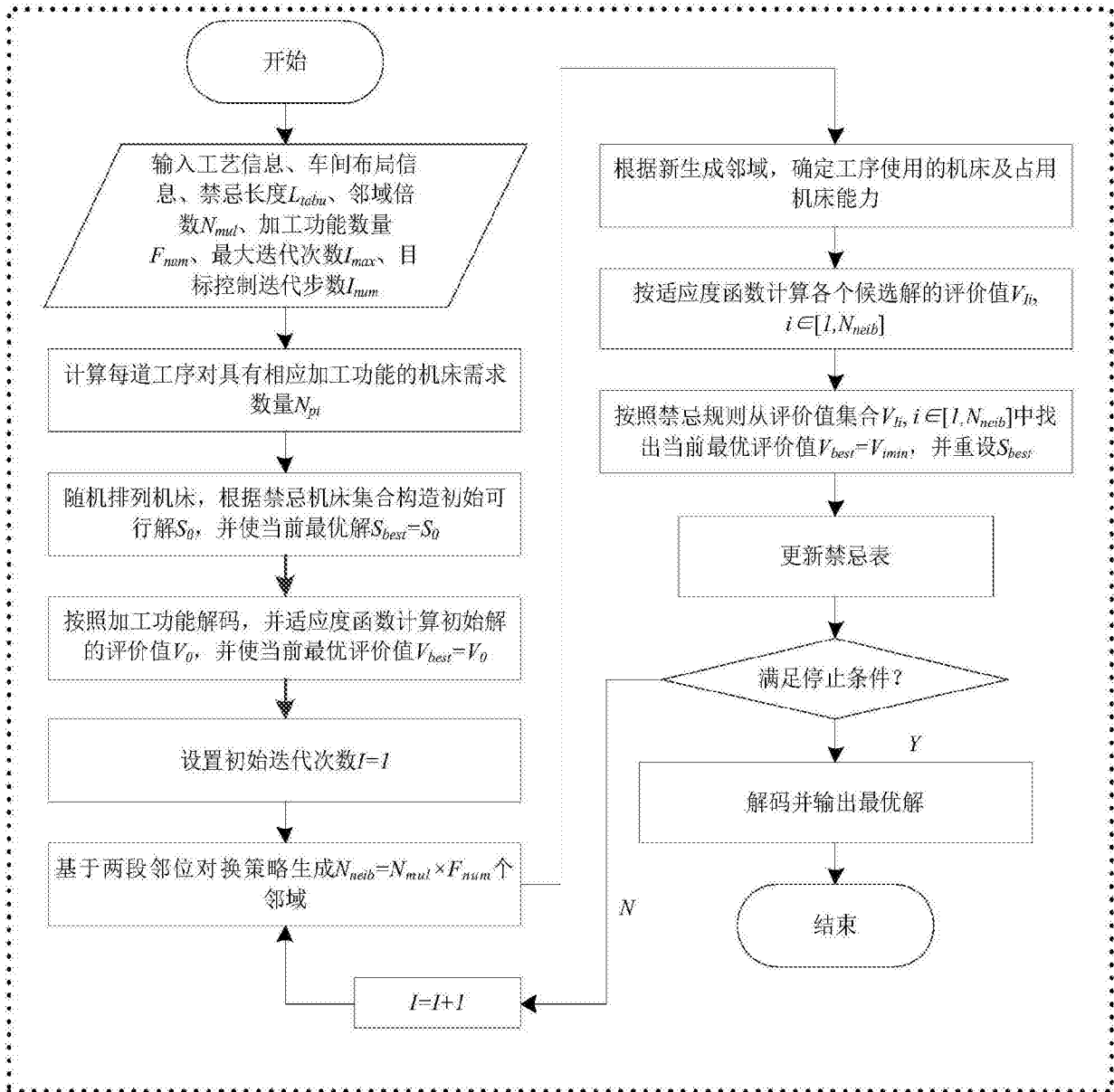


图1

























M_{F_1}	M_{F_2}	M_{F_3}	M_{F_4}	M_{F_5}	M_{F_6}	M_{F_7}	M_{F_8}	M_{F_9}	$M_{F_{10}}$
									
	8							16	
	2		4			17	3	14	
20	10		25	7	12	5	31	8	20
4	9	3	24	27	15	4	29	9	25
7	11	5	20	30	14	9	27	30	27
	14	18		8			15		3
	17	8							

图2