

文章编号: 1006-4710(2011)04-0379-07

考虑工艺多样性的资源服务化配置研究

巴黎, 李言, 杨明顺, 高新勤

(西安理工大学 机械与精密仪器工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 针对服务型制造模式下的多工艺资源配置问题, 以总流程时间为优化目标, 以多种服务化资源为配置对象, 综合考虑成本和时间因素, 建立了该问题的数学模型, 并利用带记忆的模拟退火算法对该问题进行求解。实例结果表明, 该问题的数学模型正确, 求解算法有效。

关键词: 服务型制造; 资源服务化配置; 模拟退火算法

中图分类号: TH122, TP391 **文献标志码:** A

Research on Allocation of Service-Oriented Manufacturing Resources with Consideration of Process Diversity

BA Li, LI Yan, YANG Mingshun, GAO Xinqin

(Faculty of Mechanical and Precision Instrument Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: With the aim of multi-processed resource allocation problem under the service-oriented manufacturing paradigm, the mathematical model for this problem is built with the total flow time as the optimal objective, the multi-service-oriented resource as the allocation objective and taking cost and time factors into comprehensive consideration. Also, the simulation annealing algorithm with memory is designed for carrying out the solution to the problems. The results obtained from actual examples indicate that the mathematical model for the problem is correct, and that the solution algorithm is effective.

Key words: service-oriented manufacturing; service-oriented resource allocation; simulated annealing algorithm

为适应多样化的市场需求和激烈的竞争环境, 企业不再将全部精力集中在所有的生产环节上, 而是将发展重点转移至企业的核心竞争力上, 对于不具备竞争优势的生产环节, 则通过其他优势企业提供的相关服务来完成。在这种发展趋势下, 制造与服务之间的关系逐渐模糊, 二者逐渐融合, 产生了新的制造模式——服务型制造模式(the service-oriented manufacturing paradigm)^[1]。

服务型制造模式下的资源服务化配置问题可概括为: 针对某项或多项任务的各子任务, 在满足约束条件的情况下, 配置合适的服务性生产和生产性服

务, 使优化目标(如总流程时间、总流程成本或多种因素的综合值)达到最优。传统的资源配置问题基本以制造资源为配置对象, 配置环境大多局限于单车间或单厂区。在服务型制造环境下, 各种与生产相关的设备(如制造设备、运输设备、检测设备等)都将封装成服务, 由于设备所属企业及所在地的不同, 资源服务化配置问题的配置环境上升到了更大的区域, 使本身就是 NP-hard 的服务配置问题更加复杂。如何合理配置异地、多样的服务资源成为该模式下高效生产的关键问题。

目前, 国内外对服务型制造模式的探讨还停留

收稿日期: 2011-07-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60903124); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20096118120003); 中国博士后科学基金资助项目(20100480080); 陕西省教育厅自然科学基金资助项目(09JK614)。

作者简介: 巴黎(1986-), 男, 河南巩义人, 博士生, 研究方向为先进制造及网络设计制造技术。E-mail: xautbali@163.com。李言(1960-), 男, 陕西彬县人, 教授, 博导, 研究方向为先进制造技术、精密加工技术及机电测控技术等。E-mail: ly-jyxy@xaut.edu.cn。

在概念层面,并没有进行深刻的刻画^[1]。但是,从制造资源配置的角度,国内外有许多学者对多种制造模式下的制造资源配置问题进行了研究。

文献[2]建立了一个混合整数规划模型,解决在动态网络制造环境下的伙伴选择与调度问题;文献[3]针对实际业务过程中的动态性与不确定性,提出了基于最优生产技术思想的业务过程资源动态随机优化配置的方法;文献[4]提出了虚拟企业的资源配置平台,建立了以T、C、Q、S为目标的多目标资源优化配置模型;文献[5]将设备和人员作为调度资源,使用遗传算法对多工艺车间调度问题进行求解;文献[6]以加工顺序做为约束,以禁忌及工艺优选准则做为搜索准则,设计了蚁群算法,对多工艺路线决策问题进行了求解;文献[7]以完工时间作为优化目标,将遗传算法与模拟退火算法结合,对多项目多资源调度问题进行了求解;文献[8]设计了一种双向向量编码的遗传算法,解决智能制造环境下的多目标资源选择问题。

大部分资源调度问题通常假设各种工件具有固定的工艺路线。实际生产中,为提高调度的灵活性,减小由于部分设备的突发故障对整个生产计划的影响,在进行工艺规划时往往对同一工序设计多条工艺路线。因此,本文以服务型制造模式下的多工艺问题为研究对象,对资源服务化配置问题进行求解与分析,为各生产环节配置合适的生产性服务和服性生产,使优化目标达到最优。

1 问题描述

企业X有一批工件需要加工,由于企业自身资源的有限性,工件有若干道连续工序需要借助加工服务完成,在这若干道工序中,每道工序有若干可选工艺。该企业通过服务制造平台进行服务的搜索匹配,获得能够完成相应工序任务的若干加工服务,以及分别用于存放、运输和检测工件的若干仓储服务、运输服务和检测服务。在此情况下,为每一道工序选择合适的服务,得到符合成本阈值要求且完工时间最短的配置方案。

为建立相应的优化模型,引入以下参数。

n :工序数。

$S_{(i)}$:工序 i 的可选工艺数。

m :加工服务总数。

r :提供加工服务的企业总数。

x :仓储服务总数。

y :运输服务总数。

z :检测服务总数。

$T_{M(i)}$:第 i 道工序对应的加工时间。

$T_{S(i)}$:第 i 道工序对应的仓储时间。

$T_{Y(i)}$:当 $i = 1$ 时,为企业X将待加工件运送至加工第1道工序企业的时间;当 $1 < i \leq n$ 时,为工序 $i - 1$ 至工序 i 所产生的运输时间;当 $i = n + 1$ 时,为加工第 n 道工序的企业将完成件运送至企业X的时间。其中, $i = 1, 2, 3, \dots, n + 1$ 。

$T_{YW(i)}$:第 i 道工序对应的满车等待时间。

$T_{C(i)}$:第 i 道工序对应的检测时间。

$C_{M(i)}$:第 i 道工序对应的加工成本。

$C_{S(i)}$:第 i 道工序对应的仓储成本。

$C_{Y(i)}$:工序 $i - 1$ 至工序 i 所产生的运输成本,取法与 $T_{Y(i)}$ 同理。

$C_{YW(i)}$:第 i 道工序对应的满车等待成本。

$C_{C(i)}$:第 i 道工序对应的检测成本。

$T_{GM(i,k,j)}$:工件第 i 道工序的工艺 k 在加工服务 j 上的加工时间。其中, $k = 1, 2, 3, \dots, S_{(i)}$ 。

$T_{GS(i,j)}$:工件的第 i 道工序在仓储服务 j 上的仓储时间。

$T_{GY(i,j)}$:工件的第 i 道工序在运输服务 j 上的运输时间。

$T_{GYW(i,j)}$:工件的第 i 道工序在运输服务 j 上的满车等待时间。

$T_{GC(i,j)}$:工件的第 i 道工序在检测服务 j 上的检测时间。

$C_{GM(i,k,j)}$:工件的第 i 道工序的工艺 k 在加工服务 j 上的加工成本。其中, $k = 1, 2, 3, \dots, S_{(i)}$ 。

$C_{GS(i,j)}$:工件的第 i 道工序在仓储服务 j 上的仓储成本。

$C_{GY(i,j)}$:工件的第 i 道工序在运输服务 j 上的运输成本。

$C_{GYW(i,j)}$:工件的第 i 道工序在运输服务 j 上的满车等待成本。

$C_{GC(i,j)}$:工件的第 i 道工序在检测服务 j 上的检测成本。

$T_{EN(i,j,k)}$:企业 i 到企业 j 的运输由运输服务 k 完成的运输时间。

$C_{EN(i,j,k)}$:企业 i 到企业 j 的运输由运输服务 k 完成的运输成本。

$T_{GST(i)}$:工序 i 的开工时间。

$T_{MS(i)}$:加工服务 i 的开工时间。

$R_{S(i,j)}$: 布尔变量, 若工序 i 由仓储服务 j 仓储, 则其值为 1, 否则为 0。

$R_{Y(i,j)}$: 布尔变量, 若工序 i 由运输服务 j 运输, 则其值为 1, 否则为 0。

$R_{C(i,j)}$: 布尔变量, 若工序 i 由检测服务 j 检测, 则其值为 1, 否则为 0。

$R_{E(i,z)}$: 布尔变量, 若工序 i 在企业 z 中加工, 则其值为 1, 否则为 0。

$R_{ME(j,z)}$: 布尔变量, 若加工服务 j 隶属于企业 z , 则其值为 1, 否则为 0。

$R_{SE(i,j)}$: 布尔变量, 若仓储服务 j 的所在地与工序 i 的加工服务所属企业的距离相近, 则其值为 1, 否则为 0。

$R_{YE(i,j)}$: 布尔变量, 若运输服务 j 的所在地与工序 i 的加工服务所属企业的距离相近, 则其值为 1, 否则为 0。

$R_{CE(i,j)}$: 布尔变量, 若检测服务 j 的所在地与工序 i 的加工服务所属企业的距离相近, 则其值为 1, 否则为 0。

$R_{AE(i,k)}$: 布尔变量, 若工序 i 采用工艺 k , 则其值为 1, 否则为 0。其中, $k = 1, 2, 3, \dots, S_{(i)}$ 。

$R_{AEM(i,k,j)}$: 布尔变量, 若工序 i 的工艺 k 由加工服务 j 进行加工, 则其值为 1, 否则为 0。其中, $k = 1, 2, 3, \dots, S_{(i)}$ 。

2 问题建模

基于上述约定, 首先建立各因素的优化目标如下。

加工时间最短:

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^n T_{M(i)} \right\} \quad (1)$$

仓储时间最短:

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^n T_{S(i)} \right\} \quad (2)$$

运输时间最短:

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^{n+1} T_{Y(i)} \right\} \quad (3)$$

满车等待时间最短:

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^n T_{YW(i)} \right\} \quad (4)$$

检测时间最短:

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^n T_{C(i)} \right\} \quad (5)$$

其中:

$$T_{M(i)} = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{S(i)} [T_{GM(i,k,j)} \times R_{AEM(i,k,j)} \times R_{AE(i,k)}] \quad (6)$$

$$T_{S(i)} = \sum_{j=1}^x [T_{GS(i,j)} \times R_{S(i,j)} \times R_{SE(i,j)}] \quad (7)$$

$$T_{Y(i)} = \sum_{j=1}^y [T_{GY(i,j)} \times R_{Y(i,j)} \times R_{YE(i,j)}] \quad (8)$$

$$T_{YW(i)} = \sum_{j=1}^y [T_{GYW(i,j)} \times R_{Y(i,j)} \times R_{YE(i,j)}] \quad (9)$$

$$T_{C(i)} = \sum_{j=1}^z [T_{GC(i,j)} \times R_{C(i,j)} \times R_{CE(i,j)}] \quad (10)$$

由此得到总时间优化模型如下:

$$\begin{aligned} \text{Min} \{ & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{S(i)} [T_{GM(i,k,j)} \times R_{AEM(i,k,j)} \times R_{AE(i,k)}] + \\ & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^x [T_{GS(i,j)} \times R_{S(i,j)} \times R_{SE(i,j)}] + \\ & \sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^y [T_{GY(i,j)} \times R_{Y(i,j)} \times R_{YE(i,j)}] + \\ & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^y [T_{GYW(i,j)} \times R_{Y(i,j)} \times R_{YE(i,j)}] + \\ & \left. \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^z [T_{GC(i,j)} \times R_{C(i,j)} \times R_{CE(i,j)}] \right\} \quad (11) \end{aligned}$$

总成本 C 的取法与式(11) 同理。

对于上述模型, 存在以下约束。

1) 若第 $i \sim i+k$ 间的连续 $k+1$ 道工序在同一企业 u 加工, 仓储服务 j 负责第 i 道工序的工件仓储, 则在这 $k+1$ 道工序加工期间, 工件存放的仓库不变, 且忽略这 $k+1$ 道工序间的运输时间。若:

$$R_{E(i,u)} = R_{E(i+1,u)} = \dots = R_{E(i+k,u)} = 1 \quad (12)$$

则:

$$R_{S(i,j)} = R_{S(i+1,j)} = \dots = R_{S(i+k,j)} = 1 \quad (13)$$

$$T_{Y(i+1)} = \dots = T_{Y(i+k)} = 0 \quad (14)$$

2) 设第 $i \sim i+k$ 间的连续 $k+1$ 道工序在同一企业 u 加工, 仓储服务 j 负责这 $k+1$ 道工序的工件仓储, 在第 m ($i \leq m < i+k$) 道工序加工完后的累积时间与 $T_{C(m)}$ 、 $T_{Y(m+1)}$ 之和为 $T'(m)$ 。若 $T'(m)$ 已达到加工下道工序的服务的开工时间 $T_{MS(m+1)}$, 则开始进行下道工序的加工, 否则, 则将工件存放在该工序对应的仓库, 直到负责加工下道工序的服务开工时, 开始下道工序的加工。

若:

$$R_{E(i,z)} = R_{E(i+1,z)} = \dots = R_{E(i+k,z)} = 1 \quad (15)$$

$$R_{S(i,j)} = R_{S(i+1,j)} = \dots = R_{S(i+k,j)} = 1 \quad (16)$$

则:

$$T_{S(m+1)} = \begin{cases} T_{MS(m+1)} - T'_{(m)}, & T_{MS(m+1)} - T'_{(m)} > 0 \\ 0, & T_{MS(m+1)} - T'_{(m)} \leq 0 \end{cases} \quad (17)$$

3) 若加工第 i 与第 $i+1$ 道工序的服务所属企业不同,第 $i+1$ 道工序的工件由仓储服务 j 进行仓储,在第 $i+1$ 道工序之前的累积时间 $T'_{(i)}$ 已达到加工该工序的加工服务的开工时间 $T_{MS(m+1)}$,则直接将工件运送至加工企业;否则,计算该服务开工时间与该工序之前的累积时间的的时间差,若该时间差小于等于某一阈值 h ,则满车等待,若超过该阈值,则工件存放在负责该工序仓储服务的仓库。

$$T_{S(i+1)} = \begin{cases} 0, & (T_{MS(i+1)} - T'_{(i)}) \in (-\infty, h] \\ T_{MS(i+1)} - T'_{(i)}, & (T_{MS(i+1)} - T'_{(i)}) \in (h, +\infty) \end{cases} \quad (18)$$

$$T_{YW(i+1)} = \begin{cases} T_{MS(i+1)} - T'_{(i)}, & (T_{MS(i+1)} - T'_{(i)}) \in (0, h] \\ 0, & (T_{MS(i+1)} - T'_{(i)}) \notin (0, h] \end{cases} \quad (19)$$

4) 设总成本阈值为 d ,方案 i 的总流程成本为 $C_{(i)}$,总流程时间为 $T_{(i)}$,共有 n 个可选方案,判定不大于 d 且总流程时间最短的方案即为最优方案 k 。

设所有方案的总流程时间组成的集合为 B ,则存在整数 $k(0 < k \leq n)$,使:

$$T_{(k)} = \text{Min}\{T_{(i)} \mid T_{(i)} \in B \text{ 且 } C_{(i)} \leq d, i = 1, 2, \dots, n\} \quad (20)$$

5) 对于任一道工序,只能使用一种工艺对其进行加工。

对于工序 i ,假定有 $S_{(i)}$ 个可选工艺,对于工艺 $k(0 \leq k \leq S_{(i)})$,若:

$$R_{AE(i,k)} = 1 \quad (21)$$

则:

$$\begin{aligned} R_{AE(i,0)} &= \dots = R_{AE(i,k-1)} = \\ R_{AE(i,k+1)} &= \dots = R_{AE(i,S_{(i)})} = 0 \end{aligned} \quad (22)$$

3 模型求解

从以上建模过程可以看出,该问题属 NP-hard 问题,本文采用带记忆的模拟退火算法对服务型制造环境下的多工艺问题进行求解。

1) 编码。采用实数分别对加工服务、仓储服务、运输服务和检测服务进行编码。例如:背景企业得到了某订单,由于该企业自身资源的有限性,工件共有

4道连续工序需要借助服务资源完成,这4道工序依次分别有2、3、2、3个工艺可供选择。对于工艺链,假定随机生成的工艺链为[2 3 1 3],则表示:第1道工序选用工艺2进行加工,第2道工序选用工艺3进行加工,以此类推;对于加工服务,假设随机生成的服务链为[5 7 6 1],则表示:第1道工序的加工由加工服务5完成,第2道工序的加工由加工服务7完成,以此类推。将企业与加工服务进行匹配,形成企业链。其他服务链的生成与加工链同理。

2) 产生初始个体。按照上述编码方法,随机产生一个个体,作为问题的初始解。

3) 适应度函数。取总流程时间作为适应度值,则染色体 i 的适应值为:

$$f(i) = \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{S_{(i)}} [T_{GM(i,k,j)} \times R_{AEM(i,k,j)} \times R_{AE(i,k)}] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^x [T_{GS(i,j)} \times R_{S(i,j)} \times R_{SE(i,j)}] + \sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^y [T_{GY(i,j)} \times R_{Y(i,j)} \times R_{YE(i,j)}] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^y [T_{GYW(i,j)} \times R_{Y(i,j)} \times R_{YE(i,j)}] + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^z [T_{GC(i,j)} \times R_{C(i,j)} \times R_{CE(i,j)}] \right\} \quad (23)$$

4) 降温概率。若新解的适应值劣于原解,则需计算降温概率。设第 $i-1$ 次退火后的温度为 $T_{N(i-1)}$,温度变化率为 a ,第 $i-1$ 次退火后的解的适应值为 $F_{(i-1)}$,第 i 次退火后的解的适应值为 $F_{(i)}$,则降温概率如式(24)所示。

$$t_{(i)} = e^{-(F_{(i)} - F_{(i-1)}) / (T_{N(i-1)} \times a)} \quad (24)$$

5) 降温操作。设降温比较概率为 $t_m(0 \leq t_m \leq 1)$, t_m 随机生成。当新解的适应值优于原解或 $t_m < t_{(i)}$ 时,判定进行降温,设第 i 次降温后的温度为 $T_{N(i)}$,初始温度为 T_s ,温度变化率为 a ,则降温后的温度为:

$$T_{N(i)} = T_s \times a^i \quad (25)$$

6) 退火操作。采用随机位置变异的方法对可行解进行退火操作。例如:对于编码中所提例子,假设随机产生两个不同位置2、3,则对于工艺链和加工链,需对位于工序2和工序3位置上的工艺和加工服务进行随机变异操作。由于加工服务的变化,导致变化后的负责工序2和工序3加工的加工服务与变换前的加工服务所属的企业可能会不同,所以对于企业链,相应位置的企业代码需参照加工服务与企业的隶属关系重新生成。对于仓储和检测链,

其变化操作与加工链同理。对于运输链,将工件运入和运出的被变化企业的运输服务均要变化。

算法流程如图 1 所示。

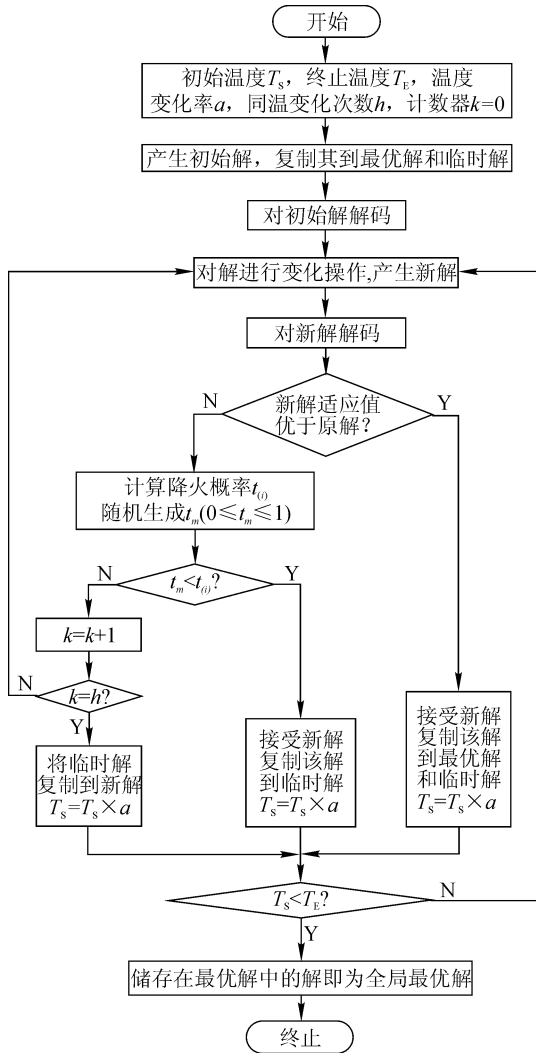


图 1 多工艺问题求解算法流程

Fig. 1 Flow chart of the algorithm for multi-process problem

4 实例分析

企业 X 得到一个订单,由于企业自身资源的有限性,工件共有 4 道连续工序需要借助服务资源完成,这 4 道工序依次有 2、3、2、2 个可选工艺。该企业通过服务化制造平台进行服务资源搜索匹配,得到符合加工相应工序的 12 个加工服务,这些加工服务分别隶属于 4 家企业:A、B、C、D,10 个仓储服务、8 个运输服务和 10 个检测服务,在此主要以时间作为考虑因素,假定仓储、运输和检测服务充足,随时可以服务。

1) 已知参数。加工服务与企业隶属关系、仓储服务与企业的距离关系、各加工服务可用开始时间、运输服务与企业的距离关系、检测服务与企业的距

离关系、各运输服务运输时间、各检测服务检测时间及各加工服务加工时间分别如表 1~8 所示。

表 1 加工服务与企业隶属关系

Tab. 1 Relation between manufacturing services and enterprises

加工服务	企业			
	A	B	C	D
M ₁			1	
M ₂	1			
M ₃				1
M ₄			1	
M ₅		1		
M ₆	1			
M ₇		1		
M ₈				1
M ₉			1	
M ₁₀				1
M ₁₁	1			
M ₁₂		1		

表 2 仓储服务与企业的距离关系

Tab. 2 Relation of distance between storage services and enterprises

仓储服务	企业			
	A	B	C	D
S ₁	1			
S ₂			1	
S ₃		1		
S ₄	1			
S ₅				1
S ₆		1		
S ₇			1	
S ₈	1			
S ₉				1
S ₁₀		1		

表 3 各加工服务可用开始时间

Tab. 3 Starting time of every service

加工服务	可用时间/h	加工服务	可用时间/h
M ₁	0	M ₇	15
M ₂	18	M ₈	4
M ₃	26	M ₉	12
M ₄	9	M ₁₀	31
M ₅	7	M ₁₁	13
M ₆	23	M ₁₂	29

表4 运输服务与企业的距离关系

Tab. 4 Relation of distance between transportation services and enterprises

运输服务	企业				
	A	B	C	D	X
Y ₁			1		
Y ₂		1			
Y ₃					1
Y ₄			1		
Y ₅				1	
Y ₆	1				
Y ₇				1	
Y ₈		1			

表5 检测服务与企业的距离关系

Tab. 5 Relation of distance between inspection services and enterprises

检测服务	企业			
	A	B	C	D
C ₁		1		
C ₂			1	
C ₃		1		
C ₄	1			
C ₅	1			
C ₆				1
C ₇			1	
C ₈				1
C ₉			1	
C ₁₀	1			

表8 各加工服务加工时间

Tab. 8 Process time of every manufacturing service

加工服务	加工时间/h								
	工序1		工序2		工序3		工序4		
	工艺1	工艺2	工艺1	工艺2	工艺3	工艺1	工艺2	工艺1	工艺2
M ₁		6.5	7.2	7.7			8.3		
M ₂			7.1		7.8	8.0			
M ₃			7.5		7.6		8.6	5.7	
M ₄	6.1	6.6		7.5		8.6			5.8
M ₅	6.2				7.7			5.4	
M ₆				7.8		7.6	9.0	5.5	
M ₇	6.7		7.7						5.6
M ₈	6.0	6.2						5.4	
M ₉	5.9		7.3			8.2		5.5	5.7
M ₁₀					7.5	7.9			5.8
M ₁₁		6.6		7.7		9.4		5.6	
M ₁₂			7.4				8.5		

2) 假设条件。① 若某工序对应的加工服务所属企业为P,则与之相关的仓储和检测服务须在与企业P距离相近的服务中选择,且忽略从服务所在地至被服务地的运输时间。② 若两道相邻工序对应的加工服务属于不同企业,则这两道工序间的运输由距离这两企业相近的运输服务完成。③ 除了加工服务,其他服务随时可用,且资源充足。④ 工

表6 各运输服务运输时间

Tab. 6 Transportation time of every transportation service

运输服务	运输时间/h				
	A	B	C	D	X
Y ₆	-	0.6	0.4	0.5	0.5
Y ₂	0.6	-	0.7	0.6	0.6
Y ₈	0.5	-	0.8	0.5	0.4
Y ₁	0.5	0.7	-	0.5	0.7
Y ₄	0.7	0.4	-	0.6	0.6
Y ₅	0.3	0.6	0.5	-	0.3
Y ₇	0.4	0.7	0.4	-	0.5
Y ₃	0.6	0.5	0.5	0.4	-

表7 各检测服务检测时间

Tab. 7 Inspection time of every inspection service

检测服务	检测时间/h			
	工序1	工序2	工序3	工序4
C ₁	0.4	0.5	0.6	0.5
C ₂	0.3	0.4	0.5	0.4
C ₃	0.2	0.4	0.3	0.3
C ₄	0.5	0.3	0.5	0.4
C ₅	0.6	0.4	0.4	0.5
C ₆	0.5	0.2	0.5	0.6
C ₇	0.4	0.3	0.6	0.7
C ₈	0.3	0.5	0.4	0.5
C ₉	0.6	0.4	0.4	0.5
C ₁₀	0.4	0.5	0.7	0.6

件严格按照加工顺序进行加工,不允许工序调换。⑤ 允许工件在工序之间等待,允许机器在工件未到达时闲置。⑥ 机器不发生故障。

3) 求解结果与分析。取起始温度300,终止温度0.001,温度变化率0.94,同温变化次数4,待检测工序为工序2、3,满车等待时间阈值为0.5 h。使用C#编程语言进行算法程序编制,所得最优解如图

2 所示(企业 5 即企业 X), 每代可行解适应值曲线如图 3 所示, 各服务所占时间段如图 4 所示。在第 71 次迭代后出现了最优解, 对应的适应值为 29.1 h。

迭代结果	
工序	2 1 1 1
加工	1 1 9 9
企业	5 3 3 3 3 5
仓储	0 0 0 0
运输	3 0 0 0 3
检测	0 7 9 0
最近代数	71
总时间	29.1

图 2 最优解

Fig. 2 The best solution

在多工艺的情况下, 每道工序对服务具备了更多的可选择性。从求解结果看出, 最优解的加工服务均隶属于企业 3, 避免了由于加工服务所属企业的不同而产生的运输时间。

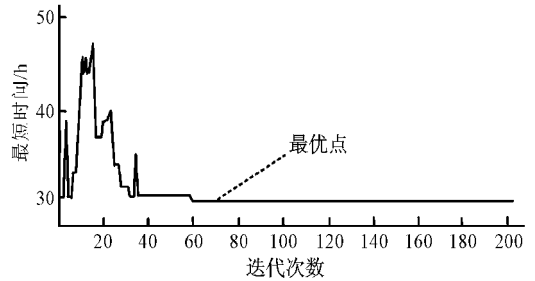


图 3 每代可行解适应值曲线

Fig. 3 Fitness curve of every solution in each era

X	Y ₃	0	M ₁	0	0	M ₁	0	0	M ₉	0	0	M ₉	Y ₃	X
	0-0.5		0.5-7.0			7.0-14.2			14.5-22.7			23.1-28.6	28.6-29.1	
						C ₇			C ₉					
						14.2-14.5			22.7-23.1					

图 4 各服务所占时间段

Fig. 4 Time range of every service

5 结 语

实际生产中, 工序往往具有多条工艺路线。在多工艺的情况下, 可以更加灵活地对各工序配置服务。本文针对服务型制造环境下的多工艺问题, 以总流程时间为优化目标, 以加工、仓储、运输和检测服务作为配置对象, 综合考虑成本和时间因素, 建立了该问题的数学模型。根据生产流程, 给出了该问题的运输时间约束、仓储时间约束、满车等待时间约束、总成本约束及工艺约束。设计了相应的求解算法。最后以实例验证了该问题数学模型的正确性和求解算法的有效性。求解结果表明, 对工件进行加工的服务属于同一企业时, 可避免因服务所在地不同而产生的运输时间。

参考文献:

[1] 孙林岩, 李刚, 江志斌, 等. 21 世纪的先进制造模式—服务型制造[J]. 中国机械工程, 2007, 18(19): 2307-2312. Sun Linyan, Li Gang, Jiang Zhibin, et al. Service-embedded manufacturing: advanced manufacturing paradigm in 21st century[J]. Chinese Mechanical Engineering, 2007, 18(19): 2307-2312.

[2] Viswanadham N, Gaonkar R S. Partner selection and synchronized planning in dynamic manufacturing networks [J]. IEEE, 2003, 19(1): 117-129.

[3] 谢毅, 琚春华. 基于最优生产技术的业务过程资源动态随机优化配置[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(7): 1414-1420. Xie Yi, Ju Chunhua. Dynamical stochastic resource allocation optimization for business process based on optimized production technology [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2009, 15(7): 1414-1420.

tion optimization for business process based on optimized production technology [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2009, 15(7): 1414-1420.

[4] 高阳, 张坤. 基于制造网格的虚拟企业资源调度问题研究[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(7): 2087-2090. Gao Yang, Zhang Kun. Research on manufacturing resources scheduling of virtual enterprise based on manufacturing grid [J]. Application Research of Computers, 2008, 25(7): 2087-2090.

[5] 鞠全勇, 朱剑英. 双资源多工艺路线作业车间模糊调度问题研究 [J]. 机械科学与技术, 2006, 25(12): 1424-1427. Ju Quanyong, Zhu Jianying. Study of fuzzy job shop scheduling problems with dual-resource and multi-process routes [J]. Mechanical Science and Technology, 2006, 25(12): 1424-1427.

[6] 刘新华, 张旭堂, 刘文剑. 基于改进最大-最小蚂蚁系统的多工艺路线决策方法 [J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(12): 2414-2420. Liu Xinhua, Zhang Xutang, Liu Wenjian. Multi-process routes decision-making methodology based on improved max-min ant system [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2008, 14(12): 2414-2420.

[7] Chen Pohan. Hybrid of genetic algorithm and simulated annealing for multiple project scheduling with multiple resource constraints [J]. Automation in Construction, 2009, (18): 434-443.

[8] Zhang Haipeng, Gen Mitsuo, Seo Yoonho. An effective coding approach for multi-objective integrated resource selection and operation sequences problem [J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2006, 17(4): 385-397.

(责任编辑 王卫勋)