

订单可分的协作计划模型及其进化算法

包融¹, 王伟业², 顾汉杰², 徐永安²

(1. 西安电子科技大学 微电子学院, 陕西 西安 710126;

2. 扬州大学 信息工程学院, 江苏 扬州 225009)

摘要:在传统协作规划中协作任务作为不可分订单在协作伙伴间进行协商协作,其协作模型和优化求解算法也是基于任务订单不可分的。为提高供应链的资源利用效率,进一步降低协作成本,建立订单可拆分的协作计划模型;设计了一种离散优化与连续优化相结合的差分进化算法,该算法具有优化能力强、陷入局部最优的概率小等特点,在实现了任务订单拆分后的任务协作的同时,扩大了供应链的协作优化的空间,使协作决策更加准确有效;最后,通过相应算例验证了模型和算法的有效性。

关键词:协作计划; 供应链优化; 订单可分; 差分进化

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2010)10-0058-04

Collaborative Planning Model Based on Divisible Order and Its Evolution Algorithm

BAO Rong¹, WANG Wei-ye², GU Han-jie², XU Yong-an²

(1. School of Microelectronic, Xidian University, Xi'an 710126, China;

2. Information Engineering College, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: In traditional collaborative planning, the collaborative task was collaborated between the collaborators as a nonseparable order, and its collaborative model and evolution algorithm are also based on the nonseparable order. In order to improve the resource utilization in the supply chain and reduce more collaborative cost, a collaborative planning model based on divisible partly orders is constructed. A differential evolution algorithm for the model, combining advantage of discrete optimization and continuous optimization, is put forward. The algorithm has a better optimization capability and small probability to fall into local optimum. The model can achieve the collaborative task after the order split and extend the space of the collaborative optimize in the supply chain, so the supply chain resources can be made full use and the decision can be made more accurate. Finally, the validity of the optimization model and algorithm are proved by an application.

Key words: collaborative planning; supply chain optimization; order divisible; differential evolution

0 引言

在生产协作中,由于其生产资源、生产时间、技术等多种因素的限制,有可能生产部门接到的生产任务不可能全部完成,需要将生产任务的一部分委托外包给供应链上的其他生产协作伙伴^[1],于是产生了协作计划。目前,对协作计划的优化问题的研究有很大进展^[2],但多数协作模型和优化求解算法是基于任务订单不可分的,降低了供应链的资源利用效率^[3,4]。然而在实际协作过程中,部分订单由于协作任务性质和

协作条件约束是不可拆分的,部分订单是可以任意拆分的,另外部分订单却又是允许有条件的拆分。订单的拆分必然扩大了供应链的协作优化的空间,给供应链上合作伙伴带来利益^[5]。为此文中针对部分订单可拆分,部分订单不可拆分的协作规划问题,提出了基于订单可分的协作计划模型,应用差分进化算法在连续性求解最优化问题方面的优势^[6],设计了与该模型相应进化算法,通过算例的仿真和结果分析,验证了模型和算法的有效性。

1 协作计划模型描述

在协作系统中,假设在某生产企业的生产部门中^[7],T1为上层ERP系统下达的计划集,T2为已中标的协作集,T3为加工计划任务集,T4为委外任务

收稿日期:2010-01-21;修回日期:2010-04-05

基金项目:国家自然科学基金项目(60874075)

作者简介:包融(1989-),男,研究方向为智能信息处理、进化算法。

集,则系统的总任务集 T 可表示为 $T = T1 \cup T2 = T3 \cup T4$,并令 $T = \{T_i | i = 1, 2, \dots, n\}$ 。假定进行竞标任务集为 $T11$,不进行招标的任务集为 $T12$,则有 $T1 = T11 \cup T12^{[8]}$ 。 $M1$ 为本生产部门可利用的自有资源集, $M2$ 为供应链中其他可供本部门使用的资源备选集,则系统的资源集 M 可表示为 $M = M1 \cup M2$,其中 $M = \{M_j | j = 1, 2, \dots, m\}$ 。设: Q_i 为 T_i 任务的生产量; C_j^{OT} 为 $M1$ 在计划期内能提供的自有资源 M_j 的加工能力; C_j^{ST} 为 $M2$ 在计划期内能提供的资源 M_j 的可使用加工能力; C_j^{NF} 为已投入未完工任务对资源 M_j 的能力需求; c_{ij} 为任务 T_i 的单件产品对资源 M_j 的能力需求; P_{bi} 为任务 T_i 生产单件产品的最低的竞标价格; P_{pi} 为任务 T_i 生产单件产品的计划价格; x_i 为本部门自己加工任务 T_i 的百分比。

在此协作系统中,协作优化问题可表述为:假设本车间的加工能力小于完成系统任务集所有任务的能力需求或系统所能支配的部分能力不足时,在保证交货期的前提下如何安排委外计划和加工计划,使得完成所有任务的总成本最低和自有资源的利用率最高。因此,对协作计划模型作如下简化假设:

- 1) 协作任务不允许转包;
- 2) 供应链上有足够多的协作资源;
- 3) 暂不考虑各任务对不同资源需求时间顺序约束;
- 4) 协作者对协作任务的报价与任务招标顺序无关;
- 5) 供应链上的协作资源具有相同的效用。

根据上述问题,设计如下规划模型。

目标函数 f_1 :完成系统任务集中所有任务的总费用最低。

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n (P_{pi} Q_i x_i + P_{bi} Q_i (1 - x_i)) \quad (1)$$

目标函数 f_2 :计划期自有资源利用率最高。

$$\text{Max} \sum_{j=1}^m \text{Min}(\sum_{i=1}^n c_{ij} Q_i x_i + C_j^{NF}, C_j^{OT}) / \sum_{j=1}^m C_j^{OT} \quad (2)$$

约束条件 C :

$$\sum_{i=1}^n c_{ij} Q_i x_i + C_j^{NF} \leq C_j^{OT} + C_j^{ST}, j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$x_i \in [0, 1] \quad (4)$$

$$x_i = 1, T_i \in T^{(2)} \cup T^{(12)} \quad (5)$$

2 差分进化算法描述

2.1 适应度函数

由于规划模型中的两个目标函数具有不同的量

纲^[9],因此先进行无量纲归一化处理,上述目标函数可表示为:

$$\text{Max } f_1(x) = 1 - \sum_{i=1}^n (P_{pi} Q_i x_i + P_{bi} Q_i (1 - x_i)) / \sum_{i=1}^n \text{Max}\{P_{pi} Q_i, P_{bi} Q_i\} \quad (6)$$

$$\text{Max } f_2(x) = \sum_{j=1}^m \text{Min}(\sum_{i=1}^n c_{ij} Q_i x_i + C_j^{NF}, C_j^{OT}) / \sum_{j=1}^m C_j^{OT} \quad (7)$$

对于一个多目标优化问题,给其各子目标函数 $f_i(x)$ ($i = 1, 2, \dots, p$) 赋予不同的权重 w_i ($i = 1, 2, \dots, p$),其中 w_i 表示相应子目标 $f_i(x)$ 在多目标优化问题中的重要程度。可令 $\sum_{i=1}^p w_i = 1$,则原问题模型目标函数的线性加权和可以表示为:

$$f(x) = \sum_{i=1}^p w_i f_i(x) \quad (8)$$

线性加权和可以作为多目标优化问题的评价函数,因此多目标优化问题就转化为单目标优化问题。文中只考虑成本最低,如需考虑多目标问题,则根据上述表示方法,可以将多目标优化问题转化为单目标优化问题。

2.2 约束条件的处理方法

处理约束的方法有惩罚函数法、解码器法以及修补法等方法。文中设置统一的惩罚项常数 H ,根据约束条件把该惩罚项加到适应度函数中去,使约束问题求解转化为无约束问题的求解。惩罚函数策略,把转化后的无约束问题求解过程中违反约束的迭代点赋予极小的适应度函数值,因此该个体被遗传到下一代种群的概率减少。这也使得无约束问题的极值点不断向可行域靠近或者在可行域移动,直到收敛于原约束问题的极值点。

2.3 算法设计

算法设计如下:

(1)初始化种群:在差分进化算法在迭代过程中,首先初始化 N 个 n 维向量作为每一代 G 的种群,其中 $x_{i,G}$, $i = 1, 2, \dots, N$ 。其中 N 为种群大小,在迭代过程中保持不变。

(2)变异操作:对种群 G 每一个向量 $x_{i,G}$, $i = 1, 2, \dots, N$ 进行变异,产生扰动向量 $v_{i,G+1}$ 。文中采用 DE/rand-to-best/1 方法将当前种群的最优个体置于差分向量中,按照如下规则进行变异操作:

$$v_{i,G+1} = x_{i,G} + \lambda \cdot (x_{\text{best},G} - x_{r1,G} + F \cdot (x_{r2,G} - x_{r3,G})) \quad (9)$$

式中, $r_1, r_2, r_3 \in [1, N]$,为互不相同的整数,且

都不等于 i , $x_{\text{best},G}$ 表示 G 代种群中的最优个体, F 为变异因子, λ 为贪婪因子。此种方法充分利用了当前种群中最优个体的信息, 在加快收敛的速度的同时在一定程度上防止种群陷入局部最优解。式中, λ 为控制算法的“贪婪”程度, 一般取 $\lambda = F$, 则上式可以改写为:

$$v_{i,G+1} = x_{i,G} + F \cdot (x_{\text{best},G} - x_{r1,G} + x_{r2,G} - x_{r3,G}) \quad (10)$$

(3) 交叉操作: 为了保持种群的多样性, 将经过变异操作后的扰动向量 $v_{i,G+1}$ 与 G 代的个体 $x_{i,G}$ 进行交叉操作, 产生试验向量 $u_{i,G+1}$ 。交叉操作的规则如下:

$$u_{j,i,G+1} = \begin{cases} v_{j,i,G+1} & \text{当 } \text{rand}_{j,i} \leq \text{CR} \text{ 或者 } j = I_{\text{rand}} \\ x_{j,i,G} & \text{当 } \text{rand}_{j,i} > \text{CR} \text{ 且 } j \neq I_{\text{rand}} \end{cases} \quad (11)$$

式中, $i = 1, 2, \dots, N$; $j = 1, 2, \dots, n$; $\text{rand}_{j,i}$ 为 $[0, 1)$ 之间一个随机数, 符合均匀分布; CR 为交叉概率, 且 $\text{CR} \in [0, 1]$ 。试验向量 $u_{i,G+1}$ 至少有一位基因由扰动向量 $v_{i,G+1}$ 提供, 为此引入随机数 I_{rand} , I_{rand} 为区间 $[1, n]$ 上的一个随机整数, 从而保证个体 $x_{i,G}$ 的进化的同时 $u_{i,G+1}$ 与 $x_{i,G}$ 不会全相同。

(4) 选择操作: 将经过变异、交叉操作后得到的试验向量 $u_{i,G+1}$ 与原向量 $x_{i,G}$ 进行比较, 适应度函数更优者成为 $x_{i,G+1}$, 进入下一代种群, 即

$$x_{i,G+1} = \arg\max(f(x_{i,G}), f(u_{i,G+1})) \quad (12)$$

$$x_{\text{best},G+1} = \arg\max(\max(f(x_{i,G})), x_{\text{best},G}) \quad (13)$$

式中, $i = 1, 2, \dots, n$; f 表示目标函数。差分进化算法的选择操作采用“贪婪”的选取策略, 即当且仅当试验向量 $u_{i,G+1}$ 的适应度优于原向量 $x_{i,G}$ 时, 试验向量 $u_{i,G+1}$ 才会被保留下来进入下一代, 否则 $x_{i,G}$ 将直接进入子代。 $x_{\text{best},G+1}$ 表示第 $G+1$ 代种群中适应度最优的个体。

(5) 自适应交叉算子: 文中采用自适应的交叉算子对优化过程进行改进^[10], 在加快收敛的速度的同时, 降低种群陷入局部最优解的概率。通过动态改变交叉概率 CR 的大小, 使搜索前期种群保持多样性, 搜索后期提升局部搜索能力, 精确搜索。CR 可动态表示为:

$$\text{CR} = \text{CR}_{\min} + \frac{\text{CurrentGeneration}}{\text{MaxGeneration}}(\text{CR}_{\max} - \text{CR}_{\min}) \quad (14)$$

式中, CurrentGeneration 表示种群的迭代次数, MaxGeneration 为最大迭代次数, CR_{\min} 表示交叉概率 CR 的最小值, CR_{\max} 表示交叉概率 CR 的最大值。

(6) 加速算子: 在优化过程中, 当连续很多代种群的最优个体不能随着迭代的进行持续优化, 目标函数值几乎不发生变化时, 引入加速算子, 将当前种群最优个体向更优个体转换。加速算子可以表示为:

$$x_{\text{best},G+1} = \begin{cases} \tilde{x}_{\text{best},G+1}, & \text{当 } f(\tilde{x}_{\text{best},G+1}) < f(\tilde{x}_{\text{best},G}) \\ \tilde{x}_{\text{best},G+1} - \alpha \cdot \nabla J, & \text{其他} \end{cases} \quad (15)$$

式中, $\tilde{x}_{\text{best},G+1}$ 表示由式(13)获得的最优个体, f 为目标函数, α 为迭代步长, ∇J 为目标函数的梯度信息。

(7) 重布算子: 虽然加速算子能够有效地加快收敛速度, 但过快的收敛会导致优化陷入局部最优解或者使收敛早熟。因此, 文中采用重布算子策略, 当种群的多样性小于某一特定尺度时, 重布算子即可重新生成一个新的种群, 其中新种群中每个个体的生成以最优个体 $x_{\text{best},G}$ 为基础。

3 算例分析

上述模型可应用于某生产部门计划期内的加工订单任务的计划决策中。设该加工订单中共有 12 项任务, 其中 T11、T12 为协作任务, 其余 10 项为上级 ERP 系统下达的计划任务。此时, 本车间的加工能力小于完成系统任务集所有任务的能力需求, 因此将这 10 项任务分别向合作伙伴招标。在这 10 项任务中有 9 项任务在规定的时间内产生竞标方案, T2 没有产生竞标方案。Pb 为各个任务的最低竞标价^[11], 设置各参数如表 1 所示。与生产任务相关的自有设备和供应链中相关资源共 10 种, 它们在计划期内的能力数据及各任务对各种能力的需求(按单位产品计)列于表 1 中, 各生产任务的订单量也如表 1 中所示。

差分进化算法的运行参数设定如下: 种群大小 $N = 200$; 变异因子 $F = 0.8$; 惩罚项 $H = 2000$; 交叉概率 $\text{CR}_{\min} = 0.1$, $\text{CR}_{\max} = 0.2$; 种群多样性指标 $\epsilon_1 = 0.1$; 个体多样性指标 $\epsilon_2 = 0.06$; 最大种群代数 $G_{\max} = 2000$ 。

此外, 鉴于实际生产中, 一个任务如果有很少的一部分需由自己加工或协作加工, 考虑生产的诸多因素带来的不便, 则将该任务交由协作者完成或自己完成^[12]。因此本模型规定:

$$\begin{cases} x_i \approx 0, & \text{当 } x_i \leq 0.1 \\ x_i = 1, & \text{当 } x_i \geq 0.9 \end{cases} \quad (16)$$

运行算法程序, 运行结果如表 2。结果显示: 随着种群个体的不断进化, 目标函数以较快的速度收敛, 反复运行程序均具有较为稳定的解。

4 结束语

协作规划是面向敏捷制造的供应链协作的一个重要功能。文中将协作规划问题中各任务的订单考虑成

表 1 计划期相关约束资源与任务数据表

	订单	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	Pb	Pp	From
T1	50	34		—	38	—	—	—	48	—	—	5.00	3.60	计划
T2	100	—	50	28	—	—	47	—	—	—	32	—	2.30	计划
T3	80	35	—	—	16	—	—	—	38	—	—	3.38	3.13	计划
T4	125	—	—	—	—	33	—	—	—	16	—	1.52	1.04	计划
T5	135	—	—	20	—	—	24	—	—	—	—	1.70	2.07	计划
T6	120	21	—	—	31	—	—	—	32	—	—	1.25	1.00	计划
T7	100	—	—	—	—	34	—	—	—	17	28	3.50	3.20	计划
T8	85	—	—	29	—	—	33	54	—	—	—	3.10	2.24	计划
T9	168	—	—	—	12	—	—	19	—	—	—	1.00	1.00	计划
T10	95	—	10	—	—	20	25	—	—	25	18	4.95	4.53	计划
T11	100	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	5.00	协作
T12	150	15	30	—	—	26	—	—	—	13	—	—	2.00	协作
C ^{OT}	—	9600	9600	9600	9400	14400	9600	9600	9600	9600	9600	—	—	—
C ^{NF}	—	3200	1600	—	800	1200	—	1600	3200	—	—	—	—	—
C ST	—	1500	700	—	1700	2000	1500	2900	1000	700	400	—	—	—

表 2 订单可分的协作计划最优解

任务	产量	本部门加工	协作加工
T1	50	50	0
T2	100	100	0
T3	80	0	80
T4	125	125	0
T5	135	0	135
T6	120	68	52
T7	100	100	0
T8	85	85	0
T9	168	18	150
T10	95	95	0
T11	100	100	0
T12	150	150	0

总成本: 3080.985 元

可分的模型,采用差分进化算法,结合遗传算法及启发式规则,以连续和离散相结合的优化策略求解该模型,建立了相应的仿真软件,并通过算例进行了仿真运算,证明了这种方法的可行性与有效性。同时,也看到了在求解复杂的全局优化问题时,采用离散与连续相结合的优化策略,实现更优的求解结果。

参考文献:

[1] Buyukokan G, Vardalogu Z. Analyzing of collaborative planning, forecasting and replenishment approach using fuzzy cognitive map[C]//2009 International Conference on Computers & Industrial Engineering(CIE 2009).[s.l.]:[s.n.], 2009:

1751-1756.
[2] 刘春林.基于协作的供应链优化模型[J].管理科学学报,2004,7(4):9-13.
[3] 汪惠芬,乔 莉,刘婷婷,等.协作企业共享资源模型实现[J].中国制造业信息化,2008,37(23):11-16.
[4] Francois J, Deschamps J, Fontan G. Collaborative Planning for Enterprises Involved in Different Supply Chains[J]. Service Systems and Service Management, 2006, 2(10): 1466 - 1471.
[5] 于晓义,孙树栋,褚 巍.基于并行协同进化遗传算法的多协作车间计划调度[J].计算机集成制造系统,2008,14(5): 991-1000
[6] 刘小勇.最优化问题的蚁群混合差分进化算法研究[J].中山大学学报:自然科学版,2008,47(3):33-36.
[7] 包振强.基于多 Agent 的智能制造执行系统研究[D].南京:南京航空航天大学,2003: 30-39.
[8] Liu Quan, Min Hui. A Collaborative Production Planning Model for Multi-agent Based Supply Chain[J]. Computer Science and Software Engineering, 2008,1(12):512-515.
[9] 卢有麟,周建中.基于混沌搜索的自适应差分进化算法[J].计算机工程与应用,2008,44(10):31-39.
[10] 吴亮红,王耀南,袁小芳,等.自适应二次变异差分进化算法[J].控制与决策,2006,21(8):898-902.
[11] 叶 飞.基于合作对策的供应链协作利益分配方法研究[J].计算机集成制造系统,2004,10(12):1523-1529.
[12] 马朝阳,张 星,田 耕.随机需求下的供应链协作优化研究[J].微电子学与计算机,2009,26(4):125-132.

(上接第 57 页)

ham. MA: Kluwer Academic Publishers, 2000.
[11] Hussey, Carrington D. Comparing the MVC and PAC architectures: a formal perspective[J]. IEEE Proceeding Software, 1997, 144(4): 224-236.