

基于正交差异混合演化算法的制造资源选择

赵占芳, 马立肖, 许冀伟

(石家庄经济学院计算机科学系, 石家庄 050031)

摘要: 对制造资源的选择问题进行分析, 并建立数学模型, 提出一种适合求解该问题的正交差异混合演化算法。该算法使用子空间收缩技术和多子竞争策略, 使收敛速度得到明显提高。实验结果表明, 与其他算法相比, 该混合演化算法在解的质量、稳定性和收敛速度方面均具有较好的性能。

关键词: 正交设计; 正交杂交; 差异演化算法; 子空间收缩; 协同制造; 资源选择

Manufacture Resources Selection Based on Orthogonal Differential Hybrid Evolution Algorithm

ZHAO Zhan-fang, MA Li-xiao, XU Ji-wei

(Department of Computer Science, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China)

【Abstract】 This paper analyzes the selection problem of manufacture resources, and establishes a mathematical model. The paper presents a hybrid evolutionary algorithm with Differential Evolution(DE) and orthogonal design to solve this problem. Subspace shrinking technology and the method of several offspring competition are applied to the hybrid evolutionary algorithm, which make the algorithm convergence velocity has obvious improvement. Compared with other algorithms, experimental results show that the hybrid evolutionary algorithm is excellent in quality, stability and convergence velocity.

【Key words】 orthogonal design; orthogonal crossover; Differential Evolution(DE) algorithm; subspace shrinking; collaborative manufacturing; resources selection

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2012.02.059

1 概述

随着网络技术深入广泛的应用, 网络化协同制造正成为制造业竞相发展的制造模式之一。网络化协同制造的基本组织形式是虚拟企业(Virtual Enterprise, VE), 虚拟企业是具有不同资源优势的多个企业为了响应市场机遇而结成的企业联盟体。制造资源的优化选择是组建企业联盟的关键, 也是网络化协同制造能否顺利进行的关键问题之一。

在网络化协同制造中, 制造资源的选择过程为: 虚拟企业的盟主将制造任务分解为多个子任务, 对自己没有能力完成的子任务进行网络招投标, 并对投标资源进行优化选择。优化选择过程可以分为 2 个阶段: (1) 由专家依据信誉、质量、时间等指标进行定性分析, 选择出各子任务的备选资源。(2) 以总制造费用(包括加工费用和运输费用)最低为目标从备选资源中选出最优的资源组合。本文着重研究第(2)阶段根据总制造费用进行优化选择的方法。

制造资源的优化选择问题属于非线性的 0-1 整数规划问题, 归结为组合优化领域的 NP-hard 问题。通常是随着问题规模的增大, 应用传统的穷举法和隐枚举法求解非常困难, 甚至不可能, 因此, 寻求高效的优化算法非常必要。目前, 所采用的优化算法主要有遗传算法^[1-2]和蚁群算法^[3-4]等, 这些算法的缺陷是当子任务、候选资源和约束条件过多时, 算法的效率不高, 且有的会产生非法解。差异演化(Differential Evolution, DE)算法^[5-6]和文献[7]算法是目前演化计算研究领域中的 2 个著名算法, 也是目前国内外研究的热点算法。本文将正交设计技术^[8]应用于差异和郭涛混合演化算法中, 并对差异演化算法和郭涛算子进行了改进, 用以求解制造资源

的优化选择问题。

2 网络协同制造中资源选择的数学模型分析

网络协同制造中制造资源的选择问题可以描述为: 制造任务被分解成有一定先序关系的 n 个子任务, 设先序关系集为 H 。对于子任务 i 有 m_i 个投标资源, 但有且只能有一个资源被选中。投标资源对所投的子任务存在一个加工费用, 若 $(i, j) \in H$, 则子任务 i 是子任务 j 的直接先序, 子任务 i 的资源与子任务 j 的资源之间还存在一个物料运输费用。优化目标为从各子任务的投标资源中, 分别选出一个投标资源, 使得产品制造的总费用最少。现规定符号如下:

$T = \{1, 2, \dots, n\}$: 子任务编号集合。

$R_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}\}$: 子任务 i ($i=1, 2, \dots, n$) 的投标资源编号集合。

$H = \{(i, j) | i \in T \wedge j \in T \wedge i \neq j \wedge \text{子任务 } i \text{ 是子任务 } j \text{ 的直接先序工序}\}$ 。

$C_{r_{ik}}$: 投标资源 r_{ik} 的加工费用 ($1 \leq i \leq n, 1 \leq k \leq m_i$)。

$W_{r_{ik}r_{jh}}$: 从 r_{ik} 将物料运送到 r_{jh} 的运输费用 ($1 \leq i, j \leq n, 1 \leq k \leq m_i, 1 \leq h \leq m_j$), 若 $(i, j) \notin H$ 时, $W_{r_{ik}r_{jh}} = 0$ 。

基金项目: 河北省科学技术研究与发展计划基金资助项目(0921350 2D)

作者简介: 赵占芳(1978—), 女, 讲师、硕士, 主研方向: 演化计算; 马立肖、许冀伟, 讲师、硕士

收稿日期: 2011-05-20 **E-mail:** zzf_sjz@126.com

x_{ik} : r_{ik} 是否被选中。

则制造资源选择问题的数学模型可以描述为:

$$\min \text{cost} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{m_i} x_{ik} c_{ik} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} x_{rk} x_{rj} W_{rk,rj} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \sum_{k=1}^{m_i} x_{rk} = 1 \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

$$x_{rk} = \begin{cases} 1 & r_{ik} \text{ 被选中} \\ 0 & r_{ik} \text{ 未被选中} \end{cases} \quad (i=1,2,\dots,n; k=1,2,\dots,m_i) \quad (3)$$

3 正交差异混合演化算法

3.1 差异混合演化算法

差异演化算法(又称微分演化算法或差分演化算法)是一种基于种群差异求解连续全局优化问题的演化算法。该算法是由美国加州大学伯克利分校的 Storn R 和 Price K 在 1995 年为求解切比雪夫多项式而提出的^[5]。

差异演化算法是以“优胜劣汰”的贪婪方式选择子代个体的,算法的前期探索能力较强,后期随着演化代数的增加,各个体之间的差异度逐渐减小,收敛速度会变慢,甚至有时会陷入局部最优点。为此,本文对差异演化算法进行改进,将郭涛算法的多父体杂交操作引入到差异演化算法中,以增强差异演化算法的全局搜索能力和非凸区域搜索能力。

郭涛算法是一种基于子空间搜索和种群爬山法结合的种群随机搜索算法,也称为多父体杂交算法。本文将多父体杂交操作视为一个算子——郭涛算子,融合到差异演化算法中,形成了差异混合演化算法。并且为了提高郭涛算子的搜索效率,在郭涛算子中引入子空间收缩技术^[9],即随着种群演化的进行,逐步缩小搜索的范围,即减少子空间的维数。

为了进一步增强差异混合演化算法的收敛速度,引入了多子竞争的策略:使用差异演化算法 DE/rand/1/bin 模式分别产生 5 个新个体,选择最优的个体。使用多父体杂交的郭涛算子,产生一个新个体,此个体和 DE 产生的 5 个体与父体竞争,保留最优的个体。

3.2 基于正交设计的正交杂交算子

正交设计是一种高效率、快速、经济的实验设计方法,可以通过较少的实验次数,找到较好或最好的优化组合,正交设计的方法已经在很多科学研究领域得到了广泛应用。将正交设计方法用于演化算法的种群杂交操作中,称为正交杂交操作^[10]。本文中视正交杂交操作为一个算子,应用于差异混合演化算法中。

正交杂交操作的基本思想是:随机选择 2 个父体 $X_1 = (x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1N})$ 和 $X_2 = (x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2N})$ 进行杂交,使 2 个父体基因重组来产生新的个体 P ,个体 P 的第 i 个因素的取值只可能是 2 种情况,取 x_{1i} 或 x_{2i} ,选择了 2 个水平的正交表^[10]为依据,实现 2 个父体的杂交,由于基因重组的方式的多样性,因此根据正交表杂交产生了多个新个体,生成了一个正交杂交的子种群。下面给出正交杂交子种群 $P(M,N)$ 的产生算法。

算法 1 正交杂交子种群 $P(M,N)$ 的产生算法

```

for i= 1 to M do
  for j= 1 to N do
    k= L[i][j]
    if k= 1 then
      P[i][j]= x1j
    Endif
    if k= 2 then

```

P[i][j]= x_{2j}

```

Endif
End
End

```

3.3 基于正交杂交的差异混合演化算法

基于正交杂交的差异混合演化算法,称为正交差异混合演化算法,其核心思想是:把正交杂交算子串行放在差异混合演化算法的每一代演化结束前的位置,在正交杂交算子产生的子种群中,选取最优适应值个体,取代差异混合演化算法当前种群中的最差适应值个体。下面为正交差异混合演化的编码采用整数编码。

算法 2 正交杂交的差异混合演化算法

Step1 随机初始化种群。

Step2 For i=1 to PopulationSize do

差异演化算法产生 5 个新个体,选择最优的个体 A。

使用多父体杂交的郭涛算子,产生一个新个体 B。

A 和 B 2 个体与父体竞争,保留最优的;

End

Step3 分别找出当前混合算法的种群中适应值最优和适应值最差的个体。

Step4 执行算法 1 的正交杂交算子,在正交杂交产生的子种群中选择最优适应值的个体取代当前混合算法种群中最差适应值的个体。

Step5 对郭涛算子使用子空间收缩,提高搜索效率。

Step6 判断,若停机准则未达到,执行 Step2。

Step7 输出计算结果。

4 正交差异混合演化算法的应用

4.1 实例说明

简单实例说明,某制造企业有一大型制造任务订单,需要构建企业联盟完成此订单任务。该制造企业根据实际情况,将此制造任务分解为 7 个子任务,经过网上招投标和专家遴选,确定了各个子任务的备选投标资源,图 1 即为该实例的任务分解图,其先序关系集为:

$$H = \{(1,5),(2,4),(3,4),(4,5),(5,6),(6,7)\}$$

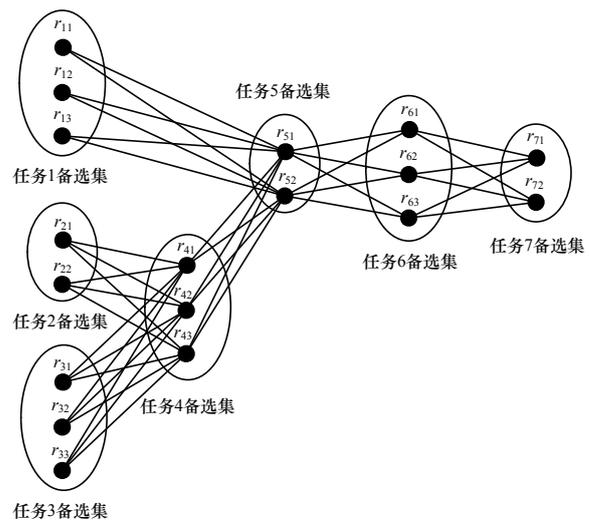


图 1 任务分解及备选资源

各个投标资源对所投子任务的制造费用如表 1 所示,存在先序关系的子任务投标资源之间物料运输费用如表 2~表 5 所示。现在需要整个制造任务的总费用最低为目标选择出最优的资源组合。

表1 各投标资源制造费用 万元

资源编号	加工成本	资源编号	加工成本
r_{11}	10.2	r_{42}	5.1
r_{12}	8.5	r_{43}	6.4
r_{13}	12.7	r_{51}	18.5
r_{21}	9.3	r_{52}	19.6
r_{22}	5.5	r_{61}	0.8
r_{31}	3.6	r_{62}	1.0
r_{32}	5.3	r_{63}	0.6
r_{33}	4.2	r_{71}	3.1
r_{41}	2.5	r_{72}	5.0

表2 节点2和节点3至节点4的运输费用 万元

资源编号	r_{41}	r_{42}	r_{43}
r_{21}	0.2	0.4	0.3
r_{22}	0.5	0.2	0.2
r_{31}	0.9	0.5	0.3
r_{32}	0.3	0.2	0.3
r_{33}	0.2	0.5	0.4

表3 节点1和节点4至节点5的运输费用 万元

资源编号	r_{51}	r_{52}
r_{11}	0.9	0.7
r_{12}	1.3	1.0
r_{13}	0.6	0.6
r_{41}	0.2	0.4
r_{42}	0.4	0.6
r_{43}	0.7	0.5

表4 节点5至节点6的运输费用 万元

资源编号	r_{61}	r_{62}	r_{63}
r_{51}	0.8	0.7	0.2
r_{52}	0.6	0.6	0.6

表5 节点6至节点7的运输费用 万元

资源编号	r_{71}	r_{72}
r_{61}	0.5	0.7
r_{62}	0.8	0.6
r_{63}	0.2	0.7

4.2 基于正交差异混合演化算法的资源优化问题求解

应用正交差异混合演化算法求解该优化问题,参数选择:种群大小为30,维数是7,杂交概率为0.3,缩放因子是(0,1]之间的随机数,多父体杂交的子空间维数为6,正交表的水平为2,连续运行50次,50次均得到本题的最优伙伴合作方案($r_{12}, r_{22}, r_{33}, r_{41}, r_{51}, r_{63}, r_{71}$),该方案说明了7个子任务的资源选择情况,最优制造资源选择结果如图2所示。该项目的总制造费用最低为45.5万元。

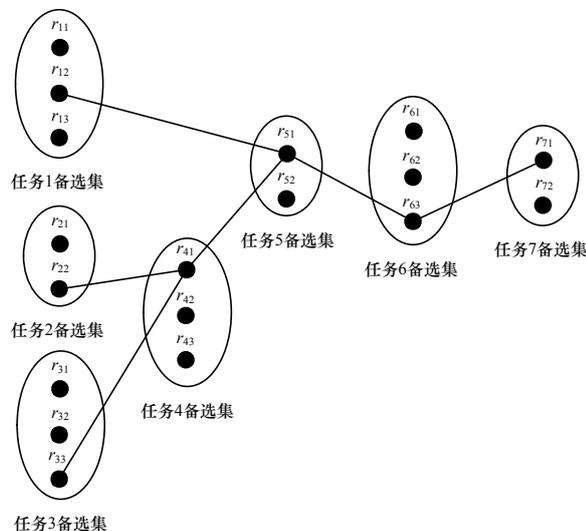


图2 最优制造资源选择结果

4.3 对比分析

分别应用遗传算法(GA)和文献[3]的蚁群算法(ACA)及本文的正交差异混合演化算法(ODE)编制程序,求解本文实例,在同一台机器上各自运行50次,运行结果对比如表6所示。

表6 GA算法、ACA算法和ODE算法比较

算法	运行次数	得到最优解次数	平均耗时/s
GA	50	34	0.48
ACA	50	47	0.26
ODE	50	50	0.20

从表6中可以看出,本文算法在收敛速度上要明显优于遗传算法和文献[3]的蚁群算法,并且在求解的质量和稳定性上具有较好的性能。差异演化算法与其他算法相比,具有结构简单、快速和鲁棒性的特点,本文将郭涛算子引入差异算法中,避免了算法在后期陷入局部最优解,同时在郭涛算子中,引入了子空间收缩技术,提高了郭涛算子的搜索效率。在差异混合演化算法的杂交和变异操作中,采用了多子竞争策略:即使用差异算法的DE/rand/1/bin模式分别产生5个新个体,与郭涛算子产生的新个体进行竞争。多子竞争策略大大加快了差异混合算法的收敛速度。本文将正交杂交算子引入差异混合算法中,使算法的收敛速度得到进一步提高。

5 结束语

针对网络协同制造过程中制造资源的优化选择问题,本文提出了一种改进的正交差异混合演化算法。该算法因采用了多子竞争的策略和子空间收缩技术,使算法的收敛速度得到明显的提高;算法中的正交杂交算子采用了稳态淘汰的策略,既保证了种群的多样性,又加快了种群的收敛速度。实验结果表明,该算法的编码方式简单,易于实现,是一种解决组合优化问题的有效方法。

参考文献

- [1] 袁庆霓, 谢庆生, 许明恒. Web服务平台下基于遗传算法的制造资源服务选择[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(4): 1266-1268.
- [2] 付景枝, 张友良. 基于遗传算法的网格制造资源优化选择[J]. 小型微型计算机系统, 2007, 28(4): 674-677.
- [3] 王正成, 潘晓弘, 潘旭伟. 基于蚁群算法的网络化制造资源服务链构建[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(1): 174-181.
- [4] 房亚东, 杜来红, 和延安. 蚁群算法及灰色理论在制造资源配置中的应用[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(4): 705-711.
- [5] Storn R, Price K. Differential Evolution: A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces[J]. Journal of Global Optimization, 1997, 11(1): 341-359.
- [6] 邓长寿, 赵秉岩, 梁昌勇. 改进的差异演化算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(24): 194-195.
- [7] Guo Tao, Kang Lishan. A New Evolutionary Algorithm for Function Optimization[J]. Wuhan University Journal of Nature Sciences, 1999, 4(4): 409-414.
- [8] Leung Yiu-Wing, Wang Yuping. An Orthogonal Genetic Algorithm with Quantization for Global Numerical Optimization[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2001, 5(1): 41-53.
- [9] 康卓, 李艳, 刘溥, 等. 一个通用的混合非线性规划问题的演化算法[J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(11): 1471-1477.
- [10] 龚文引, 刘小波. 一种基于正交设计的快速差分演化算法及其应用研究[J]. 小型微型计算机系统, 2007, 28(7): 1297-1301.