

敏捷制造中面向盟友选择问题的遗传算法

朱 伟, 徐克林, 朱 易

(同济大学 机械工程学院, 上海 201804, zhuliuhui@163.com)

摘 要: 为解决敏捷制造中组建动态联盟的盟友选择问题, 在分析传统盟友选择方法局限性的基础上, 设计求解敏捷制造中面向盟友选择问题的遗传算法, 建立算法模型, 论述遗传算法的个体编码及初始群体产生方法、概率淘汰与轮盘赌相结合的选择方法以及编码循环取值的变异算子设计方法, 实例分析验证了算法的稳定性、可靠性及高效的收敛速度. 验证结果表明算法能给相关研究提供参考, 亦可用于动态联盟盟友选择问题的指导.

关键词: 敏捷制造; 盟友选择; 遗传算法

中图分类号: TP301.6

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2010)09-1500-04

A genetic algorithm focusing on the problem of partner selection in agile manufacturing

ZHU Wei, XU Ke-lin, ZHU Yi

(College of Mechanical and Electrical Engineering Tongji University, Shanghai 201804, China, zhuliuhui@163.com)

Abstract: To solve the problem of partner selection in establishing dynamic alliance in agile manufacturing, a genetic algorithm based on the analysis to the limitation of traditional selection method was designed and the corresponding algorithm model was constructed. The method for individual coding and initial population generating, the selection method for combining probability elimination with roulette and the design method for mutation operator about coding cycle value were discussed. Example analysis verified the stability, reliability and high convergence speed of the algorithm. It is concluded that the algorithm is beneficial for solving the partner selection problem in dynamic alliance.

Key words: agile manufacturing; partner selection; genetic algorithm

随着全球经济一体化、网络化的进程, 敏捷制造 (Agile Manufacturing, AM) 理念应运而生, 敏捷制造中具有代表性的组织形式虚拟企业 (Virtual Enterprise, VE), 即核心企业通过招投标的形式联合本地或异地的相关优势互补资源, 为及时响应市场机遇而结成的动态联盟成为全球学术界和企业界关注的焦点^[1].

盟友选择是结成动态联盟的核心环节, 它其实是一个多目标组合优化问题^[2]. 随着问题规模的不断扩大, 传统的运筹学方法及启发式算法在

盟友选择问题上的应用受到限制, 如文献[3-4]提出了重复启发式算法, 算法有效但通用性不强. 遗传算法 (Genetic Algorithm, GA) 受启于自然界优胜劣汰的自然法则, 将问题的求解过程表达为染色体的选择、交叉和变异等遗传操作, 通过全局搜索求得问题的最优解或满意解. 文献[5]提出了以代码串表达基因的编码方式, 因代码串长度与候选资源的数量相关, 故而易引发解空间爆炸膨胀问题. 文献[6]提出的遗传算法编码简单, 但遗传算子操作复杂, 而且容易产生非问题解.

本文设计了面向敏捷制造盟友选择问题的遗传算法. 算法采用字母与数字混合编码, 直观、简单且遗传操作均在解空间进行, 因而不会产生非法解. 实验结果表明, 算法在解的质量和稳定性方

收稿日期: 2008-12-22.

基金项目: 福建省教育厅 2008 年科技计划项目 (JB08263).

作者简介: 朱 伟 (1970—), 男, 博士研究生;

徐克林 (1945—), 女, 教授, 博士生导师.

面有良好性能.

1 盟友选择问题建模

1.1 问题描述

盟友选择问题可以描述为:核心企业根据实际情况将制造任务分解为多个单元任务,把自己无优势或无能力完成的单元任务放于网上投标,搜索参与竞标的所有候选资源并对竞标者考核选择:首先根据实力、信誉、质量、价格、交货情况和时空等指标进行定性分析,选择出可用资源;然后以最优化某指标为手段,选择出完成任务的最满意资源组合^[7]. 本文以成本最低为优化目标.

1.2 模型假设

- 1)各制造单元任务内容无重复;
- 2)一单元任务能且只能被一资源投中;
- 3)一资源有且仅有一次投标机会;
- 4)某些单元任务间有制造联结约束;
- 5)若单元任务*i*和*j*存在制造联结,则其相应竞标资源间有物流联结费用发生.

1.3 模型建立

- 1) $\min f = \min \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m x_i^k c_i^k + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^m x_i^k x_j^l w_{ij}^{kl} \right\},$
- 2) $x_i^k = \begin{cases} 1, & \text{资源 } k \text{ 中标任务 } i; \\ 0, & \text{资源 } k \text{ 不中标任务.} \end{cases}$
- 3) $x_i \cdot x'_i = 1, (i = 1, 2, \cdots, n),$
- 4) $x^k \cdot x^{k'} = 1, (k = 1, 2, \cdots, m),$
- 5) $t_i \cap t_j = 0, (i \neq j; i, j \in (1, 2, \cdots, n)),$
- 6) $w_{ij}^{kl} = \begin{cases} w_{ij}^{kl}, & (i, j) \in D; \\ 0, & (i, j) \notin D. \end{cases}$ w_{ij}^{kl} 表示可用资源*k*与*l*间的物流联结费用.

1.4 符号说明

$T = (t_1, t_2, \cdots, t_n)$ 为单元任务的编码向量, $B = (b_1, b_2, \cdots, b_m)$ 为可用资源的编码向量, $D = \{(i, j) | i \in (1, 2, \cdots, n-1), j \in (2, 3, \cdots, n)\}$ 为存在制造联结的两任务集合, $x_i = (x_i^1, x_i^2, \cdots, x_i^m)$ 表示任务*i*的投标向量, x'_i 为*x_i*的转置向量, $x^k = (x_1^k, x_2^k, \cdots, x_n^k)$ 表示资源*k*的投标向量, $x^{k'}$ 为*x^k*的转置向量, c_i^k 表示资源*k*对单元任务*i*的投标价格.

2 面向盟友选择问题的遗传算法

2.1 个体编码

采用字母和数字混合编码方案,设单元任务*i*的投标资源数为*m*,将单元任务*i*和投标资源的对

应关系依次编码为 $Ti_1, Ti_2, \cdots, Ti_m$. 用单元任务对应染色体的基因,设单元任务数为*n*,则问题空间可表达为一组编码长度为*n*的染色体($g_1, g_2, \cdots, g_n$),其中, $g_i \in (Ti_1, Ti_2, \cdots, Ti_m), (i = 1, 2, \cdots, n)$. 染色体结构意义为:资源*b₁*中标单元任务1,资源*b₂*中标单元任务2,依此类推,资源*b_n*中标单元任务*n*,基因的位置序列即相应的任务序列.

2.2 初始种群的产生

步骤1 随机产生*n*个 $Ti_1 \sim Ti_m$ 之间的编码作为染色体基因的值,生成一条长度为*n*的染色体.

步骤2 重复步骤1,直到生成的染色体数目满足群体规模.

2.3 适应度函数^[8]

在遗传算法中个体的适应度越大越好,而盟友选择问题是目标函数越小越好,所以需要将目标函数*f(x)*变换为个体的适应度函数*F(x)*. 所采用的变换如下:

$$F(x) = \begin{cases} C_{\max} - f(x), & \text{当 } C_{\max} > f(x) \text{ 时;} \\ 0, & \text{其他情况.} \end{cases}$$

其中: $C_{\max}$ 为足够大的实数且最好与群体无关,这里选取 $C_{\max}$ 等于最大适应度值.

2.4 遗传操作

2.4.1 选择操作

选择操作采用基于排序的选择方法,首先对种群个体适应度值排序,按设定比率淘汰低适应度值个体,剩余个体(最优个体除外)按轮盘赌方法参与选择.

2.4.2 交叉操作

为避免产生非法个体,交叉操作限制在等位基因之间进行. 选取两父代体*A*和*B*,随机产生两个表示交叉点的自然数,不妨取 $n_1 = 3, n_2 = 7$,互换两点外等位段基因的值,形成表达问题的子代体*A₁*和*B₁*. 子代体*A₁*、*B₁*的结构形成过程如下:

父代体 A	$T1_1T2_3T3_2 \mid T4_2T5_1T6_2T7_1 \mid T8_2T9_4,$
	$\downarrow \uparrow$
父代体 B	$T1_2T2_4T3_1 \mid T4_3T5_3T6_1T7_2 \mid T8_4T9_2,$
子代体 A ₁	$T1_2T2_4T3_1 \mid T4_2T5_1T6_2T7_1 \mid T8_4T9_2,$
子代体 B ₁	$T1_1T2_3T3_2 \mid T4_3T5_3T6_1T7_2 \mid T8_2T9_4,$

采用等位分段交叉算子,可以满足资源和单元任务间的约束关系,保证了新个体的合法性.

2.4.3 变异操作

为避免产生表达非法解的个体,算法设计了如下的变异算子:任务号不变,资源号加1,用任务号和资源号的新对应关系编码取代原编码而形成新基因. 下面以父代染色体*C*为例说明变异操

表 4 资源 b_5 至 b_6 的物流费用 f_{5-6} 万元

资源	b_{61}	b_{62}	b_{63}
b_{51}	0.8	0.7	0.2
b_{52}	0.6	0.6	0.6

表 5 资源 b_6 至 b_7 的物流费用 f_{6-7} 万元

资源	b_{71}	b_{72}
b_{61}	0.5	0.7
b_{62}	0.8	0.6
b_{63}	0.2	0.7

3.2 结果及分析

算例中,单元任务数为 7,因此,染色体长度为 7.取淘汰率 $P_e = 0.2$ 、种群规模为 40、交叉概率 $P_c = 0.7$ 、变异概率 $P_m = 0.2$ 、进化代数 为 80.

在 Dell Inspiron1420 PC 机、Windows XP 环境下运行算法 50 次,其中 44 次得到问题最优解,其染色体结构为: $T1_2T2_2T3_3T4_1T5_1T6_3T7_1$,表示资源组合 R_{12} 、 R_{22} 、 R_{33} 、 R_{41} 、 R_{51} 、 R_{63} 和 R_{71} 为最优,对应的总成本为 45.5 万元;6 次得到问题次优解,其染色体结构为: $T1_2T2_2T3_1T4_1T5_1T6_3T7_1$,表示资源组合 R_{12} 、 R_{22} 、 R_{31} 、 R_{41} 、 R_{51} 、 R_{63} 和 R_{71} 为次优,对应的总成本为 45.6 万元.所得结论和文献[1]一致,证明了算法的可行性和可靠性.

4 结论与展望

1)讨论了面向敏捷制造动态盟友选择的遗传算法,算法采用字母与数字混合编码方式,在等位基因间进行交叉与变异操作,克服了传统遗传算法操作复杂且易产生非法解等缺点.

2)算法寻优效果明显,稳定性强.

3)下一步拟研究约束条件的智能自适应,以

增强算法的鲁棒性和可进化性^[10],以便操作复杂大型的制造任务和动态盟友选择问题.

参考文献:

[1] 张洁,高亮,李培根.多 Agent 技术在先进制造中的应用[M].北京:科学出版社,2004.

[2] 李灵能,罗中先,戴跃洪.敏捷制造平台上动态联盟盟友的选择[J].机械设计与制造,2007(6):194-196.

[3] 伍乃骐,苏平.敏捷制造下合作伙伴选择的有效算法[J].计算机集成制造系统,2004,10(8):971-979.

[4] WU Nai-qi, MAO Ning, QIAN Yan-ming. An approach to partner selection in agile manufacturing[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 1999(10):519-529.

[5] 冯蔚东,陈剑,赵均纯.基于遗传算法的动态联盟伙伴选择过程及优化模型[J].清华大学学报:自然科学版,2000,40(10):120-124.

[6] 郭怀瑞.敏捷制造系统的重构算法[D].武汉:华中科技大学图书馆,2000.

[7] 张翠军,贺毅朝,王金山.敏捷制造中制造资源选择问题的遗传算法[J].计算机工程与应用,2007,43(10):217-218.

[8] 王凌.智能优化算法及其应用[M].北京:清华大学出版社,2001:154-159.

[9] 柳林.基于遗传算法的 Job-Shop 调度问题求解[J].计算机应用,2006(7):1695-1696.

[10] WU C G, XING X L, LEE H P, et al. Genetic algorithm application on the job shop scheduling problem [C]//Proceedings of 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Shanghai, China: [s. n.], 2004: 2102-2106.

(编辑 杨波)