

文章编号: 1001-0920(2001)0S-0709-04

策略联盟中带有协同因子的伙伴挑选模型

裴 菁, 汪定伟

(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘要: 研究基于网络的多工作伙伴挑选问题, 并设计了带有协同因子的 0-1 整数规划模型, 以实现竞标费用和拖期惩罚费用之和最小。通过伙伴有效性定义, 减小了解空间。利用遗传算法进行了模型求解。仿真结果表明了模型和算法的有效性和可行性。

关键词: 协同因子; 遗传算法; 伙伴挑选; 拖期惩罚

中图分类号: O221.4

文献标识码: A

A Partner Selection Model with Compatible Factor of Dynamic Alliances

PEI Jing, WANG Ding-wei

(School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: Partner selection of dynamic alliances for multi-job manufacturing systems in virtual enterprise is studied and a 0-1 integral programming model, including the compatible factor, is proposed. The object is to find one kind of optimal combination and to minimize the total bid cost and tardiness penalty. Through the validity definition of partner, the scale of selection space is reduced. The optimal results can be obtained by using the genetic algorithm. The results show the effectiveness and feasibility of the model and algorithm.

Key words: compatible factor; genetic algorithm; partner selection; tardiness penalty

1 引言

随着制造业的竞争由局部转向全球, 加剧了新技术和人才的竞争。为了增强企业的快速适应能力和创新能力, 使企业保持竞争优势, 企业间必须进行有效的策略联盟。如何合理地进行伙伴挑选并组成策略联盟共同面对市场竞争, 成为研究的热点问题之一。

虽然文献[1~3]研究了策略联盟的动力和发展趋势, 文献[4~6]考虑了依据竞标价格和竞标工期

的活动网络挑选模型, 但都没有考虑企业间的合作与竞争以及企业产品的兼容程度等协同性问题。通过专家对关键性的协同性问题的评估, 可以得到企业间的协同性指标, 该指标的优劣对动态联盟的成败具有重要的影响。本文以一个带有活动网络的项目为背景, 把该项目分成多个子项目进行伙伴挑选, 依照竞标伙伴的工期、竞标价格和企业间的协同性指标, 建立了一个 0-1 整数规划模型, 并利用遗传算法求得了近优解。计算实例结果表明了模型和所提出算法的有效性和可行性。

收稿日期: 2001-02-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(60084003)

作者简介: 裴菁(1974—), 男, 江苏常州人, 博士生, 从事面向敏捷制造的企业资源需求计划、动态联盟等研究; 汪定伟

(1948—), 男, 江西彭泽人, 教授, 博士生导师, 从事生产计划与调度理论、建模与决策等研究。http://www.cnki.net

2 问题的描述与模型的建立

考虑某公司得到一个项目的订单,项目由 n 个子项目(即工作)组成,各工作之间有一定的先序关系,先序关系集为 H ,若 $(i, j) \in H$,则称工作 i 为工作 j 的领前工序。对于工作 i 有 m_i 个候选人, b_{ij} 为工作 i 的第 j 个候选人的竞标价格, q_{ij} 为工作 i 第 j 个候选人的工期, \hat{b}_i 为工作 i 的价格期望值, \hat{q}_i 为工作 i 的工期期望值。 a_{ikjl} 为相邻工作的竞标企业间的协同性指标因子,其中 $(i, j) \in H, k = 1, 2, \dots, m_i; l = 1, 2, \dots, m_j$ 。 δ 为相邻工作的最低协同性指标要求, D 是项目要求的完工工期, R 是方案的最低满意度。

项目有完工工期约束,拖期会有拖期惩罚。同时必须考虑应标方案的可信度和相邻工作伙伴之间的协同性约束。所以模型目标是挑选满足可信度和协调性要求的竞标方案组成策略联盟,使得拖期惩罚费用加上项目竞标总费用最少。通常拖期惩罚费用与拖期时间成正比,设单位时间的惩罚系数为 β 。

定义变量

$$w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{工作 } i \text{ 选中第 } j \text{ 个候选人} \\ 0, & \text{其它} \end{cases}, \quad \forall i, j \quad (1)$$

定义变量 u_{ij}^b 为工作 i 的第 j 个候选人的工期满意度, u_{ij}^q 为工作 i 的第 j 个候选人的竞标价格满意度, $u_{ij}^c \in (0, 1]$ 为工作 i 的第 j 个候选人的技术满意度(专家评估得到), u_{ij} 为工作 i 的第 j 个候选人的综合满意度。

$$u_{ij}^b = \begin{cases} 1, & b_{ij} \leq \hat{b}_i \\ 1 - \frac{b_{ij} - \hat{b}_i}{r_1 \hat{b}_i}, & \hat{b}_i < b_{ij} < (1 + r_1) \hat{b}_i \\ 0, & b_{ij} \geq (1 + r_1) \hat{b}_i \end{cases} \quad (2)$$

$$u_{ij}^q = \begin{cases} 1, & q_{ij} \leq \hat{q}_i \\ 1 - \frac{q_{ij} - \hat{q}_i}{r_2 \hat{q}_i}, & \hat{q}_i < q_{ij} < (1 + r_2) \hat{q}_i \\ 0, & q_{ij} \geq (1 + r_2) \hat{q}_i \end{cases} \quad (3)$$

$$u_{ij} = \min\{u_{ij}^c, u_{ij}^q, u_{ij}^b\} \quad (4)$$

其中, $r_1 \in (0, 1), r_2 \in (0, 1)$ 分别为工期满意度与价格满意度的调节参数,由系统给定。

定义变量 c_i 为工作 i 的预计完工时间,其中 $i = 1, 2, \dots, n$ 。

描述

$$\min z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} w_{ij} b_{ij} + \beta [c_n - D]^+ \quad (5)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{j=1}^{m_i} w_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{m_i} w_{ij} u_{ij} \geq R, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^{m_i} \sum_{l=1}^{m_j} w_{ik} w_{jl} \geq \delta, \quad (i, j) \in H \quad (8)$$

$$c_i = \begin{cases} \max_{(p,i) \in H} (c_p) + \sum_{j=1}^{m_i} w_{ij} q_{ij} \\ \exists (p, i) \in H, i = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{j=1}^{m_i} w_{ij} q_{ij} \\ \exists (p, i) \in H, i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (9)$$

$$w_{ij} = 0 \text{ 或 } 1, \quad \forall i, j \quad (10)$$

其中, $[x]^+ = \max(0, x)$, β 为系统给定的常数。

3 问题求解

3.1 决策空间的简化

问题(5)的可行解空间大小为

$$N = \prod_{i=1}^n m_i \quad (11)$$

通过过滤无效的竞标伙伴可以对可行解空间进行简化。

定义1 对于工作 i 的备选伙伴 j , 若 $u_{ij} < R$ 成立,则称为无效伙伴。

定义2 $\exists (i, j) \in H$, 对于活动 i 的备选伙伴 k , 若 $\max(a_{ikj1}, a_{ikj2}, \dots, a_{ikjm_j}) < \delta$ 成立,则称备选伙伴 k 为活动 i 的非协同伙伴。同理,对于活动 j 的备选伙伴 t , 如果不等式 $\max(a_{i1jt}, a_{i2jt}, \dots, a_{im_jt}) < \delta$ 成立,则称备选伙伴 t 为活动 j 的非协同伙伴。

过滤掉无效伙伴和非协同伙伴,不仅不会造成解的丢失,还会使解的空间得以减小。通过决策空间简化后,对于 $\forall i$, 如果活动 i 的备选伙伴个数 $m_i = 1$, 则必定存在一个满足协同性要求的伙伴挑选方案,即本问题存在一个可行解。

由于模型(5) ~ (10)的目标函数和约束条件均为非线性函数,难以用常规的算法进行求解,故设计了遗传算法进行求解,并在算法中调用项目调度算法^[7,8]来计算目标函数值和活动网络关键路径。

3.2 编码策略及模型简化

利用自然数编码作为基因表达, 设 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$, 其中 $1 \leq x_i \leq m_i, \forall i$ 。染色体 X 代表了一种盟友挑选方案, x_i 则表示第 i 个活动挑选第 j 个备选伙伴来担当。

于是模型简化为

$$\min_X f(X) = \sum_{i=1}^n b_{ix_i} + \beta [C_n - D]^+ \quad (12)$$

$$\text{s. t. } a_{ix_j x_j} \leq \delta, \quad (i, j) \in H \quad (13)$$

$$c_i = \begin{cases} \max_{(p,i) \in H} (cp) + q_{ix_i} & \exists (p, i) \in H, i = 1, 2, \dots, n \\ q_{ix_i} & \bar{\exists} (p, i) \in H, i = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (14)$$

其中, x_i 是一个整数, 介于 1 到 m_i 之间, $i = 1, 2, \dots, n$; β 为系统给定的常数。

3.3 项目调度算法

为了简化描述, 对于挑选 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$, 我们定义如下等式

$$b_i = b_{ix_i}, \quad q_i = q_{ix_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (15)$$

项目调度步骤如下:

步 1: 从工作 $i = 1$ 至 n , 通过下式计算初始开工时间 s_i 与完成时间 c_i

$$s_i = \begin{cases} \max\{c_k, \forall (k, i) \in H\}, & \exists (k, i) \in H \\ 0, & \bar{\exists} (k, i) \in H \end{cases}$$

$$c_i = s_i + q_i$$

步 2: 令项目开始时间为 $s_n = s_n$, 完工时间为 $c_n = c_n$ 。从工作 $i = n$ 至 1 标定开始时间 s_i 和完工时间 c_i , 即

$$c_i = \min\{s_k, \forall (i, k) \in H\}$$

$$s_i = c_i - q_i$$

步 3: 从工作 $i = 1$ 至 n , 如果 $c_i = c_i$, 则工作 i 属于关键工作; 否则属于非关键工作;

步 4: 计算项目的目标值 $Z(X)$

$$Z(X) = \sum_{i=1}^n b_i + \beta [C_n - D]^+$$

通过项目调度算法, 我们可以得到整个项目的目标函数值。

3.4 遗传算法的设计

1) 编码方式和初始种群: 采用自然数编码, 即 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ 代表初始一个染色体, 其中 $x_i (1, 2, \dots, m_i)$ 。

约束, 为了控制基因的可行性, 将式(8) 转换得到相应的惩罚系数 $a_{ix_j x_j}^*$, 其中 δ_1 为协同性指标的理想值。

$$a_{ix_j x_j}^* = \begin{cases} 1, & a_{ix_j x_j} \leq \delta_1 \\ 2 - 0.4 \frac{a_{ix_j x_j} - \delta}{\delta_1 - \delta}, & \delta < a_{ix_j x_j} < \delta_1 \\ 3 & a_{ix_j x_j} > \delta_1 \end{cases}$$

$$G(X) = \sum_{(i,j) \in H} a_{ix_j x_j}^*$$

3) 适应函数: 对于第 k 代种群 $\text{Pop}(k)$ 适应函数如下

$$f(X) = \frac{F_{\max} - F(X) + Y}{F_{\max} - F_{\min} + Y} \quad (16)$$

其中, $F(X) = Z(X)G(X)$, $Z(X) = \sum_{i=1}^n b_{ix_i} + \beta(C_n - D)^+$, $F_{\min} = \min_{X \in \text{Pop}(k)} \{F(X)\}$, $F_{\max} = \max_{X \in \text{Pop}(k)} \{F(X)\}$, Y 是一个小正实数, 用于调整适应值, $k = 1, 2, \dots, \text{NG}$ 。NG 是最大种群代数。

4) 遗传运算: 交叉采用两点交叉, 变异运算采用均匀变异。

5) 选择策略: 采用带比例回转轮法和精英选择策略。

6) 停止准则: 最大的迭代代数 NG 作为算法的停止准则。

4 仿真研究

上述算法利用 VC++ 6.0 加以实现, 在 Pentium Pro466, 64M 内存的 PC 机上, 对大量的例子进行计算, 取得了满意结果。限于篇幅, 这里给出一个规模较小的例子。

设某项目由 16 个子项目组成, 子项目之间构成一个活动网络图(图 1)。对于每个子项目有若干个备选伙伴, 利用带有协同性因子的伙伴挑选模型进行优化选择, 使得在满足兼容性约束条件下整体费用最小。

令要求工期 $D = 40$ (月), 拖期惩罚系数 $\beta = 10.0$ (万元/月), 交叉概率 $p_c = 0.6$, 变异概率 $p_m = 0.2$, 种群规模 $\text{pop-size} = 100$, 迭代代数 $\text{max-gen} = 1000$ 。依据不同的协调性指标要求得到的仿真结果如表 1 所示。

仿真结果表明, 伙伴挑选的最优值随着协同性指标要求 δ 的增大而呈增长趋势。在一定范围内, 增加项目的费用能提高子项目间的协同性。

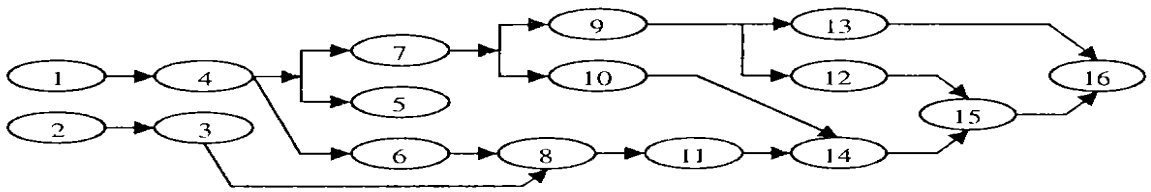


图1 工程网络图(共 16 个工作)

表1 仿真结果

协同性指标 δ	协同性指标 δ_1	惩罚函数值 $G(X)$	最优值(万元)	完工工期(月)
0.65	0.9	4.834 3	433.00	40
0.70	0.9	6.837 0	433.00	40
0.75	0.9	2.089 7	438.00	40
0.80	0.9	3.483 6	444.50	40
0.85	1.0	19.875 1	445.50	40

14.

- [4] Charles W, Richter Jr, Gerald B Sheble. Genetic algorithm evolution of utility bidding strategies for the competitive marketplace[J]. IEEE Trans on Power Systems Manuscript, 1998, 13(1): 256-261.
- [5] Jay D Anderson, Gail Kutin. Best practices in the formation and implementation of strategic alliances [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1998, 13(1): 251-256.
- [6] D Wang, S C Fang, H L Nuttle. Soft computing for multi-customer due-date bargaining[J]. IEEE Trans on SMC Part C: Application and Reviews, 1999, 29(4): 566-575.
- [7] D Wang. A fuzzy decision embedded genetic algorithm for partner selection in global manufacturing environment[J]. IEEE Trans on SMC, Part C: Application and Reviews, 2001, 31(3).
- [8] H J Zimmermann. Fuzzy set theory, application and computations[M]. New York: Academic Press, 1975.

5 结 论

伙伴挑选问题是目前的一个研究热点, 本文通过对伙伴的有效性定义, 减小了解空间。在伙伴挑选模型中引入了伙伴协同性指标因子, 并设计了遗传算法进行模型求解。计算结果表明了该模型和算法的有效性和应用潜力。

参考文献:

- [1] David He, Andrew Kusiak. Production planning and scheduling in virtual manufacturing[A]. 5th Industrial Engineering Research—Conf Proc [C]. USA: IIE, 1996. 491-496.
- [2] 蒋新松, 张申生. 敏捷竞争的挑战与思考[J]. 计算机集成制造系统, 1996, 3(1): 3-9.
- [3] R Dove. Agile knowledge transfer: Reuseable reconfigurable scalable[J]. Automatic Production, 1996, 11: 12-