

文章编号: 1001-0920(2002)03-0274-04

用 GA 求解动态联盟中伙伴选择的多目标优化模型

曹洪医, 汪定伟

(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘要: 描述了动态联盟中的伙伴选择问题, 针对以活动网络形式组织的项目, 建立伙伴选择的多目标优化模型, 实现项目失败风险最小化和项目费用与拖期惩罚总额最小化, 并利用带自适应移动线技术的遗传算法, 求得问题的整个非劣解集合或近似集合。计算结果证明了算法的有效性和模型的实用性。

关键词: 多目标问题; 伙伴选择; 风险分析; 遗传算法; 动态联盟

中图分类号: TP 14

文献标识码: A

Genetic algorithm for a multiobjective optimization model of partner selection in virtual enterprise

CAO Hong-yi, WANG Ding-wei

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

Abstract: The problem of partner selection in virtual enterprise is described and a multiobjective optimization model is proposed based on the project that is organized by activity network. The objective is to minimize project failure risk and project cost together with tardy penalty by selecting the optimal combination of partner enterprises for all sub-projects. By using a genetic algorithm with self-adaptive shift line technique, the whole set of Pareto or near Pareto solutions is found. Simulation results show that this model has potential to practical applications.

Key words: multiobjective optimization; partner selection; risk analysis; genetic algorithm; virtual enterprise

1 引言

随着网络技术与信息技术的迅猛发展, 全球化生产、全球化竞争已成为现实, 制造业面临着新的挑战与机遇。因此, 敏捷制造和动态联盟的概念一经提出, 就受到企业和学者的广泛关注^[1~4]。动态联盟通常有一个发起者, 称为盟主, 它敏锐地发现市场机遇或客户要求, 并通过伙伴选择过程创建动态联盟, 联合具有不同核心能力的多个企业即盟友, 迅速响应

市场变化, 实现共同赢利^[4]。伙伴选择是动态联盟形成过程中的一个关键问题^[5]。

本文假设某全球性企业获得了一个大型项目的订单, 企业因自身生产能力和技术优势有限, 决定通过互联网寻求合作伙伴, 创建动态联盟。与传统合作方式相比, 动态联盟中涉及的不确定性因素更多。因此本文在伙伴选择过程中, 同时考虑费用、时间和风险三个因素, 建立多目标非线性规划模型, 实现项目

收稿日期: 2000-07-13; 修回日期: 2000-09-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(69684005); 863 计划 C M S 主题项目(863-511-9844-011)

作者简介: 曹洪医(1974—), 女, 河北保定人, 博士生, 从事风险分析、面向敏捷制造企业资源计划等研究; 汪定伟(1948—), 男, 湖北武汉人, 教授, 博士生导师, 从事生产计划与调度、建模与决策等研究。

失败风险最小化和项目费用与拖期惩罚总额最小化。最后利用带自适应移动线技术的遗传算法^[6]对问题进行求解, 计算结果证明了算法的有效性和模型的实用性。

2 问题描述和模型建立

假设有某全球性企业, 不妨称为A, 获得了一个大型项目的订单, A 将项目分解成具有时序关系的子项目, 以活动网络形式加以组织。由于A 的生产能力和技术优势有限, 不能独立完成所有子项目, 因此A 决定通过网上招标和伙伴选择, 创建动态联盟。

设项目中子项目总数为 n_0 。关系“子项目 k 是子项目 i 的紧后子项目”记作 $(i, k) \in H$, (i, k) 表示一个联接子项目对, H 是所有这样的联接子项目对的集合。

设子项目 i 有 m_i 个候选企业, $m_i \geq 1, i = 1, 2, \dots, n_0$ 。如果子项目 i 由A 实施, 则 $m_i = 1, i$ 可看成只有一个候选企业的子项目, 因此由A 实施的子项目可与其它子项目相同对待。设子项目 i 的第 j 个候选企业的竞标费用为 b_{ij} , 持续时间为 $d_{ij}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m_i$ 。

设子项目 i 的结束时间为 $c_i, i = 1, 2, \dots, n_0$ 。不失一般性, 设子项目 n 是项目中的最后一个子项目, 则项目的完工时间等于 c_n 。在伙伴选择过程中, 各子项目的持续时间随被选中的候选企业而变化, 因此项目的关键路径和完工时间 c_n 是变化的。订单合同规定了项目交货期 D , 如果项目拖期, 则每个时段上的拖期惩罚率为 β 。

为了量化项目的失败风险, A 要确定每个子项目的失败概率。因为同一个子项目的不同候选企业间存在着竞标费用、持续时间、地理区域、文化、规模、信誉等诸多差异, 所以不同候选企业实施相同子项目的失败可能性是不同的。本文用失败概率 $r_{ij} (0 < r_{ij} < 1)$ 表示子项目 i 由第 j 个候选企业实施失败的可能性, $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m_i$ 。 r_{ij} 可由A 利用 Delphi 法或咨询机构评估法等方法获得。

定义变量

$$w_{ij}(t) = \begin{cases} 1, & \text{子项目 } i \text{ 选择候选企业 } j \\ & \text{并在 } t \text{ 时段开始, } \forall i, j \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (1)$$

该问题可描述如下

$$\min Z_1(w) = 1 - \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^{m_i} (1 - r_{ij})^{w_{ij}(t)} \quad (2)$$

$$\min Z_2(w) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=1}^{c_n} b_{ij} w_{ij}(t) + \beta [c_n - D]^+ \quad (3)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=1}^{c_n} w_{ij}(t) = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=1}^{c_n} (t + d_{ij}) w_{ij}(t) - \sum_{j=1}^{m_k} \sum_{t=1}^{c_n} t w_{kj}(t) \leq H \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{m_n} \sum_{t=1}^{c_n} (t + d_{nj}) w_{nj}(t) = c_n \quad (6)$$

$$w_{ij}(t) = 0 \text{ or } 1, \quad \forall i, j, t \quad (7)$$

其中 $[x]^+ = \max\{0, x\}$ 。

由于项目成功的充要条件是所有子项目都成功, 所以目标 $Z_1(w)$ 表示项目的失败风险。目标 $Z_2(w)$ 中包含子项目费用总和与项目拖期惩罚两项。

模型(2) ~ (7) 的特点是非线性和多目标, 难以用常规方法处理。本文利用带自适应移动线技术的遗传算法, 直接求多目标问题的整个非劣解集合或近似集合, 并在遗传算法中嵌入项目调度程序来处理子项目之间的时序关系。

3 模型的简化

3.1 解空间的简化

问题(2) ~ (7) 可行解的个数

$$N = \prod_{i=1}^n m_i \quad (8)$$

由(8)式, 当子项目总数和子项目候选企业数增加时, 可行解空间迅速增大, 有必要进行解空间的简化。

定义 1 子项目 i 的候选企业 j 是无效候选企业, 如果对子项目 i 存在候选企业 k , 使得: 1) $r_{ik} < r_{ij}, b_{ik} < b_{ij}, d_{ik} < d_{ij}$; 或 2) $r_{ik} = r_{ij}, b_{ik} < b_{ij}, d_{ik} < d_{ij}$ 成立。

定理 1 消去无效候选企业不会造成模型(2) ~ (7) 的非劣解的损失(证明略)。

按照定理 1, 在求解过程中即使不考虑所有无效候选企业也不会造成模型(2) ~ (7) 的非劣解的损失。因此, 通过消除无效候选企业可使解空间缩小。

3.2 编码策略和模型的简化

在遗传算法中采用自然数编码。设 $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ 是一条染色体, x_i 表示子项目 i 选择候选企

业 $x_i, x_i = 1, 2, \dots, m_i, i = 1, 2, \dots, n$, 则 x 代表了对所有子项目候选企业的一种选择。

令 $e_i(x)$ 和 $c_i(x)$ 是子项目 i 的开始时间和结束时间, 则问题(2) ~ (7) 可简化成

$$\min Z_1(x) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - r_{ix_i}) \quad (9)$$

$$\min Z_2(x) = \sum_{i=1}^n b_{ix_i} + \beta [c_n(x) - D]^+ \quad (10)$$

$$\text{s t } c_i(x) \leq e_k(x), \quad \forall (i, k) \in H \quad (11)$$

$$x_i = 1, 2, \dots, m_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

3.3 项目调度

给定一个 x , 就给定对所有子项目候选企业的一种选择。根据子项目之间的时序关系, 通过项目调度程序, 可确定项目的关键路径、完工时间和拖期惩罚, 以及子项目的开始时间和结束时间。本文规定所有子项目都在最早开始时间开工。

项目调度过程如下:

1) 对子项目 i , 利用式(13) 计算开始时间

$$e_i(x) = \begin{cases} \max\{c_k(x), \forall (k, i) \in H\}, & \text{其它,} \\ 1, & \text{不存在 } (k, i) \in H, \end{cases} \quad \forall i \quad (13)$$

结束时间 $c_i(x) = e_i(x) + d_{ix_i}, i = 1, 2, \dots, n_0$

2) 项目的完工时间为 $c_n(x)$, 项目拖期惩罚为 $\beta [c_n(x) - D]^+$ 。

4 遗传算法

4.1 遗传算法中关键环节的设计

近年来, 遗传算法以其求解多目标问题的潜力而备受重视, 研究界提出了多种求解多目标问题的遗传算法。本文采用 Gen 和 Cheng 提出的带自适应移动线的遗传算法, 该方法能通过增加选择压力, 迫使遗传算法搜索目标空间的非劣解集合或近似集合, 因此避免了加权法和优先级法中权重和优先级的确定。在获得整个非劣解集合后, 决策者可自行选择能最好地表达他对各个目标权衡取舍的非劣解。

遗传算法中关键环节的设计如下:

1) 编码方式和初始种群: 采用自然编码方式。设 $x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ 是初始种群的一个染色体, x_i 是 $[1, m_i]$ 上的随机整数, $i = 1, 2, \dots, n_0$ 。

2) 染色体评价: 适值函数定义为

$$f(x) = w_1 Z_1(x) + w_2 Z_2(x) \quad (14)$$

其中

$$w_1 = Z_2^{\max} - Z_2^{\min}, \quad w_2 = Z_1^{\max} - Z_1^{\min}$$

$$Z_l^{\max} = \max\{Z_l(x), x \in E\}$$

$$Z_l^{\min} = \min\{Z_l(x), x \in E\}, \quad l = 1, 2$$

E 是已获得的非劣解集合。

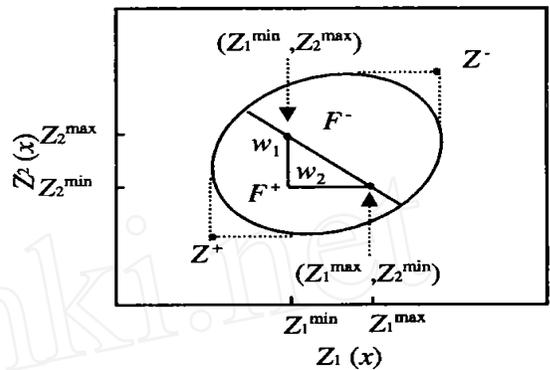


图 1 遗传算法搜索说明

图 1 中 Z^+ 和 Z^- 分别表示模型(9) ~ (12) 的正、负理想点。连接两个特殊点 (Z_1^{\min}, Z_2^{\max}) 和 (Z_1^{\max}, Z_2^{\min}) 的直线, 将目标空间划分成包含 Z^+ 和 Z^- 两部分, 可行空间 F 也被划分成 F^+ 和 F^- 两部分, $F^+ = F \cap Z^+, F^- = F \cap Z^-$ 。容易证明, 按照式(14) 构造的适值函数, F^+ 中的染色体即靠近 Z^+ 的染色体有更大的机会进入下一代。

在每一代中, 新的非劣解进入 E , 并删除 E 中的劣解, E 被更新, (Z_1^{\min}, Z_2^{\max}) 和 (Z_1^{\max}, Z_2^{\min}) 也被更新, 连接 (Z_1^{\min}, Z_2^{\max}) 和 (Z_1^{\max}, Z_2^{\min}) 的直线将逐步沿着从 Z^- 到 Z^+ 的方向移动。因此, 适值函数产生选择压力, 迫使遗传算法去搜索目标空间中的非劣解。

3) 选择: 删除父代和子代中重复的染色体, 在剩下的染色体中选择种群大小个最好的组成新的种群。

4.2 遗传算法的总体步骤

1) 设定参数: 种群大小 Pop-size, 交叉率 P_c , 变异率 P_m 和最大代数 N_G , 空集为 E 。

2) 初始化。

3) 遗传运算: 采取均匀交叉和均匀变异。

4) 更新集合 E :

对每个染色体进行项目调度, 并计算目标值 $Z_1(x)$ 和 $Z_2(x)$;

将新的非劣解加入 E , 并删除 E 中劣解, 更新 E ;

确定 Z_1^{\max}, Z_1^{\min} 和 Z_2^{\max}, Z_2^{\min} 。

5) 评价: 按式(14) 进行。

6) 选择: 删除重复染色体, 在剩下的染色体中

表 1 候选企业相关数据

| 子项目 | 候选企业 1 | | | 候选企业 2 | | | 候选企业 3 | | | 候选企业 4 | | | 候选企业 5 | | | 候选企业 6 | | | 候选企业 7 | | | |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| i | b_{i1} | d_{i1} | r_{i1} | b_{i2} | d_{i2} | r_{i2} | b_{i3} | d_{i3} | r_{i3} | b_{i4} | d_{i4} | r_{i4} | b_{i5} | d_{i5} | r_{i5} | b_{i6} | d_{i6} | r_{i6} | b_{i7} | d_{i7} | r_{i7} | |
| 1 | 16 | 3 | 0.12 | 14 | 3.5 | 0.15 | 10 | 4.5 | 0.17 | 12 | 4 | 0.19 | | | | | | | | | | |
| 2 | 21 | 6 | 0.10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 5 | 4 | 0.14 | 6 | 3.5 | 0.18 | 6 | 4.5 | 0.21 | 6.5 | 2 | 0.20 | 4 | 5 | 0.24 | 7 | 3 | 0.25 | | | | |
| 4 | 9 | 5 | 0.18 | 10 | 4 | 0.10 | 8.5 | 4.5 | 0.06 | 12 | 3 | 0.03 | 10 | 6 | 0.15 | | | | | | | |
| 5 | 9 | 7 | 0.20 | 8.5 | 6 | 0.08 | 7 | 5.5 | 0.15 | 5 | 4 | 0.05 | 12 | 5 | 0.02 | | | | | | | |
| 6 | 5 | 5 | 0.11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 24 | 7 | 0.05 | 27 | 6 | 0.10 | 23 | 6.5 | 0.12 | 21 | 7.5 | 0.04 | 22 | 8 | 0.14 | 29 | 5.5 | 0.04 | 28 | 4 | 0.17 | |
| 8 | 8 | 1.5 | 0.08 | 6 | 1 | 0.12 | 3 | 2 | 0.15 | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 7 | 3 | 0.21 | 8 | 2 | 0.17 | 6.5 | 3.5 | 0.11 | 8.5 | 1.5 | 0.05 | 9 | 2.5 | 0.15 | | | | | | | |
| 10 | 70 | 8 | 0.16 | 60 | 9 | 0.05 | 75 | 6 | 0.25 | 90 | 10 | 0.16 | 90 | 5 | 0.22 | 75 | 7 | 0.14 | 50 | 11 | 0.04 | |
| 11 | 3.5 | 4 | 0.08 | 4 | 3 | 0.11 | 3 | 3.5 | 0.05 | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 5 | 6 | 0.11 | 7 | 4 | 0.15 | 5.5 | 4.5 | 0.04 | 6 | 5 | 0.13 | | | | | | | | | | |

选择 Pop-size 个最好的组成新的种群。

7) 检查是否达到最大迭代代数, 若达到则输出计算结果, 否则转 3)。

5 计算实例

遗传算法用 VC++ 6.0 实现, 在 Pentium II 350, 64M 计算机上对多个问题进行了成功的仿真, 这里仅给出一个计算例子。

活动网络如图 2 所示, 项目中子项目总数 $n=12$, 交货期 $D=40$ 月, 拖期惩罚率 $\beta=8$ 万元/月。子项目和候选企业的参数列于表 1, 其中 b_{ij} 的单位为万元, d_{ij} 的单位为月。遗传算法的参数设置为:

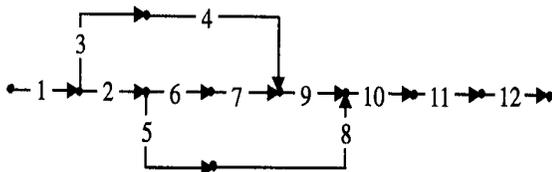


图 2 活动网络

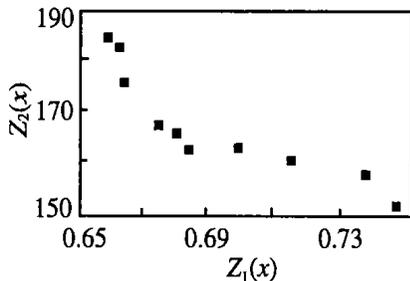


图 3 用遗传算法得到的非劣解集合

$P_c = 0.9, P_m = 0.05$, 种群数为 200, 最大迭代代数为 1000。图 3 给出了非劣解集合。

6 结 语

在全球化制造、全球化竞争的环境中, 跨国界、跨地区、跨行业创建动态联盟已成为企业保持竞争优势的关键。本文以此为背景, 从盟主的角度出发, 同时考虑时间、费用和 risk 三个因素, 建立伙伴选择的多目标非线性规划模型。针对模型特点, 利用带自适应移动线技术的遗传算法进行求解, 通过对多个问题的成功仿真表明了算法的有效性和模型的实用价值。

参考文献(References):

- [1] R N Nahel, R Dove. 21st century manufacturing enterprise strategy: An industry-led view [M]. Bethlehem: Laccoco Institute, Lehigh University, 1991.
- [2] P M Noaker. The search for agile manufacturing [J]. Manufacturing Engineering, 1994, 113(5): 40-43.
- [3] 徐晓飞. 未来企业的组织形态——动态联盟[J]. 中国机械工程, 1996, 7(4): 15-20.
- [4] 蒋新松, 张申生. 敏捷制造的挑战与思考[J]. 计算机集成制造系统, 1996, 3(1): 3-9.
- [5] S Talluri, R C Baker. Quantitative framework for designing efficient business process alliances[A]. IEEE Int Eng M anag Conf[C]. Piscataway, 1996. 656-661.
- [6] Mitsou Gen, R Cheng. Genetic algorithm and engineering design [M]. New York: John Wiley & Sons, 1997. 62-67.