

文章编号: 1002-0411(2001)04-348-04

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 沈阳 110006)

摘要: 描述动态联盟中的伙伴选择问题, 针对以活动网络形式组织的新产品开发项目, 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完工时间最小化, 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, 仿真结果证明了算法的有效性。

关键词: 伙伴选择; 遗传算法; 动态联盟; 多目标优化

中图分类号: TP14

文献标识码: B

A GENETIC ALGORITHM FOR A MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION MODEL FOR PARTNER SELECTION IN VIRTUAL ENTERPRISE

CAO Hong-yi WANG Ding-wei

(School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang, China 110006)

Abstract: The problem of partner selection in virtual enterprise is described and a multiobjective optimization model is proposed based on the new product development project that is organized by activity network. The objective is, by selecting the optimal combination of partners, to minimize project's failure risk and project's completion time. By using a genetic algorithm with self-adaptive shift line technique, the whole set of Pareto solutions is found. Simulation results show the algorithm's efficiency.

Keywords: partner selection, genetic algorithm, virtual enterprise, multiobjective optimization

1 引言(Introduction)

随着网络技术与信息技术的迅猛发展, 全球化生产、全球化竞争成为现实, 跨国界、跨地区、跨行业创建动态联盟^[1-4]已成为企业保持竞争优势的关键。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]。动态联盟创建过程中的一个关键问题是伙伴选择问题^[5]。

本文假设某制造商联合会共同出资实施一个新产品开发项目, 联合会希望通过网上招投标和伙伴选择, 建立由国内外研究机构组成的开发联盟, 实施项目中的各项开发任务。在这一共同研发式动态联盟中, 制造商联合会为盟主, 制造商的目的是共同投资, 分散成本和风险; 而研究机构作为盟友负责实际的开发任务。本文从盟主角度出发研究伙伴选择问题, 同时考虑费用、时间和风险三个因素, 以最小化项目失败风险和项目完工时间为目标, 建立多目标

非线性 0-1 规划模型, 并利用带自适应移动线技术的遗传算法^[6]对问题进行求解。

2 问题描述和模型建立(Problem Description and Modeling)

新产品开发项目被分解成多个具有时序关系的开发活动, 以活动网络形式加以组织, 制造商联合会希望通过网上招投标和伙伴选择, 为各项研发活动确定最佳的研究机构。由于当今竞争环境多变, 技术推进速度加快, 而研发活动本身又具有很强的不确定性, 因此伙伴选择的策略是使项目的失败风险尽量低, 项目的完工时间尽量短。

设活动总数为 n , 关系‘活动 k 是活动 i 的紧后活动’被记作 $(i, k) \in H$, (i, k) 表示一个联接活动对, $i, k = 1, 2, \dots, n$, H 是所有这样的联接活动对的集合。

设活动 i 有 m_i 个候选机构, $m_i \geq 1$, 活动 i 的第

收稿日期: 2000-09-24

基金项目: 国家自然科学基金(60084003)和 863 计划 CIMS 主题(863-511-9844-011)资助课题

j 个候选机构的竞标费用为 b_{ij} , 持续时间为 d_{ij} , $i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m_i$. 设活动 i 的结束时间为 c_i , $i=1, 2, \dots, n$. 不失一般性, 设活动 n 是项目中的最后一个活动, 则项目的完工时间等于 c_n . 在伙伴选择过程中, 各活动的持续时间随被选中的候选机构而变化, 因此项目的关键路径和完工时间 c_n 是变化的.

为了量化项目的失败风险, 需要确定每个活动的失败风险. 候选机构间存在着竞标费用、持续时间、科研设施、科研力量、科研规模等诸多差异, 因此不同候选机构实施相同活动的失败可能性不同. 本文用失败概率 r_{ij} ($0 \leq r_{ij} \leq 1$) 表示活动 i 由第 j 个候选机构实施失败的可能性, $i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m_i$, r_{ij} 可利用 Delphi 法或咨询机构评估法等方法获得.

定义

$$w_{ij}(t) = \begin{cases} 1 & \text{活动 } i \text{ 选择候选机构 } j, \\ & \text{并在时间 } t \text{ 开始} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad \forall ij \quad (1)$$

伙伴选择问题可以用下面的模型(2-8)来描述:

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

$$\min Z_2(w) = c_n \quad (3)$$

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

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} b_{ij} \sum_{t=1}^{c_n} w_{ij}(t) \mathcal{Q}tw_{ij}(t) \leq B \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{m_i} \sum_{t=1}^{c_n} (t + d_{ij}) w_{ij}(t) \leq \sum_{j=1}^{m_k} \sum_{t=1}^{c_n} tw_{kj}(t), \quad \forall (i, k) \in H \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{m_n} \sum_{t=1}^{c_n} (t + d_{nj}) w_{nj}(t) = c_n \quad (7)$$

$$w_{ij}(t) = 0 \text{ or } 1, \quad \forall i, j, t \quad (8)$$

其中, B 是制造商联合会的投资量, $\mathcal{Q}(\cdot)$ 是资金折现函数.

由于项目成功的充要条件是所有活动都成功, 所以目标 $Z_1(w)$ 表示项目的失败风险. 模型(2-8)的目标就是在项目投资量内, 确定合作伙伴的最佳组合, 实现项目失败风险最小化和项目完工时间最小化. 模型(2-8)的特点是: 1) 非线性; 2) 多目标, 难以用常规方法处理, 本文将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活动之间的时序关系.

3 模型的简化(Model simplification)

3.1 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 表示活动 i 选择候选机构 x_i , $x_i=1, 2, \dots, m_i$, $i=1, 2, \dots, n$, 则 x 代表了对所有活动的候选机构的一个选择.

令 $e_i(x)$ 和 $c_i(x)$ 是活动 i 的开始时间和结束时间, 问题(2-8)可以化简成:

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

$$\min Z_2(x) = c_n(x) \quad (10)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^n b_{ix_i} \mathcal{Q}e_i(x) \leq B \quad (11)$$

$$c_i(x) \leq e_k(x), \quad \forall (i, k) \in H \quad (12)$$

$$x_i = 1, 2, \dots, m_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

3.2 项目调度

给定一个 x , 就给定对所有活动的候选机构的一个选择. 根据活动之间的时序关系, 通过项目调度程序, 可确定项目的关键路径、完工时间, 以及活动的开始时间和结束时间. 为了利用资金的时间价值, 规定所有活动都在最晚开始时间开工. 项目调度过程如下:

步 1: 利用公式(14)计算活动的最早开始时间 $e'_i(x)$, 最早结束时间 $c'_i(x) = e'_i(x) + d_{ix_i}$,

$$e'_i(x) = \begin{cases} \max\{c'_k(x), \forall (k, i) \in H\} & \text{其他} \\ 1 & \text{不存在 } (k, i) \in H \end{cases}, \quad \forall i \quad (14)$$

步 2: 利用公式(15)计算活动的最晚结束时间 $c_i(x)$, 最晚开始时间 $e_i(x) = c_i(x) - d_{ix_i}$,

$$c_i(x) = \begin{cases} \min\{e_k(x), \forall (i, k) \in H\} & \text{其他} \\ c'_i(x) & \text{不存在 } (i, k) \in H \end{cases}, \quad \forall i \quad (15)$$

4 遗传算法(Genetic algorithm)

近年来, 遗传算法以其求解多目标问题的潜力受到极大的重视, 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,这个方法能够通过增加选择压力,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的权衡取舍的非劣解.

遗传算法中关键环节的设计如下:

1) 染色体的表达和初始种群:采用自然码编码方式,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, $i = 1, 2, \dots, n$.

2) 惩罚函数:第 g 代 $Pop(g)$ 的惩罚函数定义为:

$$p(x) = (1 + h(x)/h^{max}) \quad (16)$$

其中, $h(x) = \max\{0, \sum_{i=1}^n b_{ix_i} Q e_i(x) - B\}$, $h^{max}(x) = \max\{\epsilon, \max_{x \in Pop(g)} \{h(x)\}\}$, ϵ 是一个小的正数.

3) 染色体评价:第 g 代 $Pop(g)$ 的评价函数定义为:

$$F(x) = f^{max} - f(x) + \delta \quad (17)$$

其中, $f(x) = (w_1 Z_1(x) + w_2 Z_2(x)) p(x)$, $f^{max} = \max_{x \in Pop(g)} \{f(x)\}$, δ 是一个小的正数, $Z_1^{max} = \max_{x \in E} \{Z_1(x)\}$, $Z_1^{min} = \min_{x \in E} \{Z_1(x)\}$, $Z_2^{max} = \max_{x \in E} \{Z_2(x)\}$, $Z_2^{min} = \min_{x \in E} \{Z_2(x)\}$, $w_1 = Z_2^{max} - Z_2^{min}$, $w_2 = Z_1^{max} - Z_1^{min}$, E 是已经获得的非劣解集合.

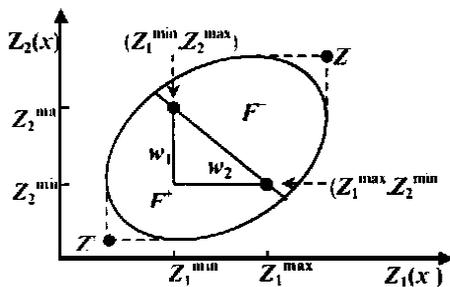


图1 遗传算法搜索说明

Fig. 1 Explanation of GA's searching

图1中 Z^+ 和 Z^- 分别表示模型(9-13)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^- 的两部分,可行空间 F 也被划分成 $F^+ = F \cap Z^+$ 和 $F^- = F \cap Z^-$ 两部分.容易证明, F^+ 中的解比 F^- 中的解具有较小的目标函数值(9)和(10);而 F^+ 中染色体的适值大于 F^- 中染色体的适值,有更大的机会进入下一代.

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,迫使遗传搜索从可行域和不可行域两侧趋于 Pareto 解.

4) 交叉和变异:用均匀交叉算子作交叉;在整数变量允许的范围内作随机摄动实现变异.

5) 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.

5 仿真实例(Simulation example)

遗传算法用 VC++ 6.0 实现,对多个问题进行成功的仿真.这里仅给出一个计算例子.活动网络如图2所示,项目中活动总数 $n = 10$, $B = 180$ (万元),活动和候选机构的参数列在表1中.遗传算法的参数设置为: $P_c = 0.9$, $P_m = 0.05$,种群数为200,最大迭代代数数为1000.非劣解集合在图3中给出.

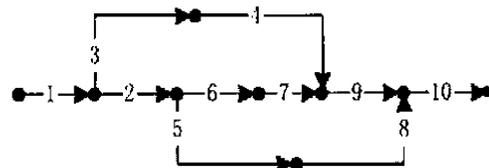


图2 活动网络

Fig. 2 Activity network

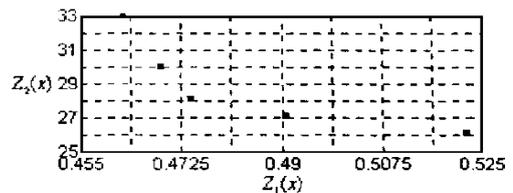


图3 非劣解集合

Fig. 3 Set of Pareto solutions

6 结束语(Concluding remarks)

在全球化环境中,制造商和科研机构联合建立以技术或产品开发为目的的动态联盟,有利于分散成本和风险,加速技术创新速度.本文正是以此为背景,从盟主的角度出发,针对以活动网络形式组织的新产品开发项目,建立伙伴选择的多目标非线性规划模型,并利用带自适应移动线技术的遗传算法进行求解,仿真结果表明了模型的实用价值和算法的有效性.

表 1 候选机构数据

Tab. 1 Data of candidate institutions

活动 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}
1	16	3	0.25	14	6	0.20	8	5	0.10	12	4	0.15	-	-	-	-	-	-
2	21	6	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	3	4	0.15	8	5	0.20	5	2	0.25	6	2	0.30	4	5	0.10	7	3	0.05
4	9	5	0.15	10	4	0.10	8	4	0.05	12	3	0.05	14	6	0.20	-	-	-
5	9	7	0.20	8	6	0.05	10	8	0.15	15	4	0.05	12	5	0.10	-	-	-
6	5	5	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	24	7	0.05	37	6	0.10	23	5	0.15	30	9	0.05	20					
8	0.15	29	4	0.05	8	8	1	0.05	6	2	0.15	3	3	0.10	-	-	-	-
9	7	3	0.25	8	2	0.15	6	3	0.10	10	4	0.05	9	2	0.15	-	-	-
10	70	8	0.15	60	9	0.05	80	6	0.25	90	10	0.10	90	5	0.20	75	7	0.15

注: b_{ij} 的单位为万元, d_{ij} 的单位为月

参 考 文 献 (References)

- Nahel R N, Dove R. 21st Century Manufacturing Enterprise Strategy: An Industry-Led View. Iacocco Institute, Lehigh University, Bethlehem PA, 1991
- Noaker P M. The search for agile manufacturing. Manufacturing Engineering, Nov, 1994, 40~ 43
- 徐晓飞. 未来企业的组织形态——动态联盟. 中国机械工程, 1996, 7(4): 15~ 20
- 蒋新松, 张申生. 敏捷制造的挑战与思考. 计算机集成制造系统, 1996, 3(1): 3~ 9
- Talluri S, Baker R C. Quantitative Framework for Designing Efficient Business Process Alliances. In: Managing Virtual Enterprise: A Convergence of Communications, Computing, and Energy Technologies, IEEE International Engineering Management Conference. Piscataway, NJ, 1996: 656~ 661
- Mitsou. Gen, R. Cheng. Genetic Algorithm and Engineering Design. John Wiley & Sons, Inc., 1997
- 曹洪医(1974-), 女, 东北大学博士研究生. 研究领域为风险分析, 面向敏捷制造企业资源计划(AM/ERP), 智能优化方法等.
- 汪定伟(1948-), 男, 东北大学教授, 博士生导师. 研究领域为生产计划与调度理论, 建模与决策, 智能优化方法等.
- (上接第 347 页)
- D P Bertsekas, M L Homer, D A Logan, S D Patek, N R Sandell. Missile Defense and Interceptor Allocation By Neuro-Dynamic Programming, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, part A, 2000, 30(1): 42~ 51
- G J Tesauro. Practical Issues in Temporal Difference Learning, Machine Learning, 1992, 8: 257~ 277
- W Zhang, T G Dietterich. A Reinforcement Learning Approach to Job Shop Scheduling, Proceedings of the 14th IJCAI, 1114~ 1220
- P Marbach, J N Tsitsiklis. A Neuro-Dynamic Programming Approach to Admission Control in ATM Networks: the Single Link Case, Technical Report LIDS-P-2402, Laboratory for Information and Decision System, M. I. T., November 1997
- P D Dayan. The Coverage of for General, Machine Learning, 1992, 8: 341~ 362
- J N Tsitsiklis, B Van Roy. An Analysis of Temporal-Difference Learning with Function Approximation, IEEE Transactions on Automatic Control, 1997, 42(5): 674~ 690
- J N Tsitsiklis, B Van Roy. A verange Cost Temporal-Difference Learning, Automatica, 1999, 35(11): 1799~ 1808
- 金辉宇(1975-), 男, 硕士生. 研究领域为先进制造、人工智能.
- 于海斌(1964-), 男, 研究员, 博士生导师. 研究领域为先进制造、现场总线技术.