

文章编号: 1001-0920(2006)02-0167-04

完工满意度最大的伙伴挑选模型

黄敏, 王兴伟, 汪定伟

(东北大学 a 教育部暨辽宁省流程工业综合自动化重点实验室, b 信息科学与工程学院, 沈阳 110004)

摘要: 针对动态联盟企业项目完工风险问题, 基于模糊计划评审法(F-PERT)描述项目的运行, 建立了相应的非线性整数规划模型, 并设计了嵌入 F-PERT 的遗传算法进行求解. 实例研究表明, 该方法在运行时间和效果方面是有效的, 从而为模糊情况下的伙伴挑选问题提供了一种有效的管理工具

关键词: 动态联盟; 伙伴挑选; 模糊计划评审法; 遗传算法

中图分类号: TP14 **文献标识码:** A

Partner Selection Model with Maximum Completion Probability

HUANG Min, WANG Xingwei, WANG Dingwei

(a Key Laboratory of Process Industry Automation, Ministry of Education, b College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China Correspondent: HUANG Min, E-mail: mhuang@mail.neu.edu.cn)

Abstract: For the completion risk for the project of dynamic alliance, fuzzy program evaluation and review technique (F-PERT) is adopted to describe the project, and the nonlinear integer model for the problem is established. Moreover, the F-PERT embedded genetic algorithm is proposed. Case study suggests that the method is effective, which present a useful management tool for partner selection problem under uncertain circumstance

Key words: Virtual enterprise; Partner selection; Fuzzy program evaluation and review technique; Genetic algorithm

1 引言

通信技术和计算机技术的快速发展, 推动了制造业的竞争由局部竞争转向全球竞争. 新技术和新方法的不断涌现, 客观上要求企业必须进行策略性的联盟, 拥有对多变且不可预测的市场竞争环境的快速适应能力和创新能力, 从而使企业保持竞争优势. 从全球的角度研究策略性联盟的企业经营策略和企业联盟模型, 引起了人们的广泛关注^[1-3]. 对于联盟企业, 不仅需要有效的生产管理, 而且急需研究基于敏捷制造动态联盟中的策略性伙伴挑选问题. 这一研究在理论研究和实际应用中都有广阔的发展前景, 已成为该研究领域的热点问题之一^[3-5].

关于伙伴挑选问题, 人们或通过数学规划模型

或通过综合评价方法开展了大量的研究^[6-12]. 无论采用哪种方法, 在考虑伙伴的完工时间时, 均假设这一时间是确定的. 然而在实际问题中, 子项目的完工时间常常是模糊的, 因而对项目完工时间造成威胁, 构成了项目完工风险. 本文针对这种情况的伙伴挑选问题进行研究, 即在满足项目费用和子项目时序约束的条件下, 使项目完工满意度最大的伙伴挑选问题. 它使伙伴选择方案满足项目费用约束, 并尽可能按期交工, 减小拖期风险.

考虑项目中各子项目完工时间的模糊性, 本文采用模糊计划评审法(F-PERT)描述项目的运行, 建立了完工满意度最大的数学模型. 由于该模型是非线性和离散的, 本文研究并开发了一套嵌入 F-

收稿日期: 2004-12-17; 修回日期: 2005-04-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(70101006, 70431003, 60473089); 辽宁省自然科学基金项目(20032018, 20032019); 沈阳市科技基金项目(1041006-1-03-03).

作者简介: 黄敏(1968—), 女, 福建长乐人, 教授, 博士生导师, 从事面向全球制造、企业风险等研究; 汪定伟(1948—), 男, 江西彭泽人, 教授, 博士生导师, 从事系统工程、建模与优化等研究

PERT 的遗传算法(GA). 实例表明它是获得该问题最优解的有效方法

2 问题描述及模型

费用、交工期和风险是伙伴挑选问题的关键因素,这3个因素之间存在着复杂关系. 考虑子项目完工时间的模糊性,本文提出从按期完工满意度最大的角度来衡量按期交工风险. 于是问题定义为在满足项目费用和子项目时序约束的条件下,使项目按期完工满意度最大的伙伴挑选问题

该问题可描述如下:企业在一个项目竞标过程中中标,该项目包括若干子项目,这里称为工作. 企业现有的能力不能完成整个项目,因此必须对部分或全部工作进行招标. 假设项目的总费用为 C , 一个子项目有多个伙伴应标,各伙伴对其应标的子项目的完工时间和所需费用不同,且完工时间为模糊值. 则企业需要在满足费用约束并保证项目按期完工满意度最大的情况下,为每个子项目选择一个伙伴,以减小拖期风险

假设项目由 n 个工作组成,由于工作之间的关系,它们形成了一个活动网络. 如果工作 j 只能在工作 i 后开始,则用 $(i, j) \in H$ 表示,其中 H 是所有工作的连接关系集合. 不失一般性,最终工作表示为工作 n , 它的模糊完成时间 \underline{d}_n 定义为项目的模糊完工期. 项目模糊交工期已知,对于工作 $i(i = 1, 2, \dots, n)$, 有 m_i 个伙伴来应标. 工作 i 的第 j 个伙伴的费用需求为 c_{ij} , 模糊完工时间为 q_{ij} . 项目完工满意度为 $\mu_c(d)$, 定义变量

$$x_{ij}(t) = \begin{cases} 1, & \text{时刻 } t \text{ 工作 } j \text{ 由伙伴 } i \text{ 完成;} \\ 0, & \text{其他.} \end{cases}$$

则问题可描述为

$$\max \mu_c(d); \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} c_{ij} x_{ij}(t) \leq C; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{m_i} x_{ij}(t) = 1, i = 1, 2, \dots, n; \quad (3)$$

$$(t + q_{ij}) \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij}(t) \leq t + q_{kj} \sum_{j=1}^{m_k} x_{kj}(t), \quad \forall (i, k) \in H, t = 1, 2, \dots, d_{nd}; \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{m_i} (t + q_{nj}) x_{nj}(t) = d_n; \quad (5)$$

$$x_{ij}(t) = 1 \text{ or } 0, \forall i, j, t \quad (6)$$

3 嵌入 F-PERT 的 GA 算法

在嵌入 F-PERT 的 GA 的设计中,首先需要确

定 F-PERT 过程, 计算完工满意度; 同时需要确定适应函数、初始种群的建立方法、遗传算子、选择策略和停止准则^[13].

3.1 F-PERT 过程

F-PERT 过程计算完工满意度的步骤如下^[14]:

第 1 步: 根据模糊工作时间的 α 截集确定关键路线模糊完工期的 α 截集;

第 2 步: 确定关键路线模糊完工期;

第 3 步: 确定按期交货模糊集;

第 4 步: 确定按期交货满意度

3.2 编码机制

在遗传算法中,基因描述采用自然数串. 令 $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]$, 其中 $w_i (\forall i)$ 是 $1 \sim m_i$ 的整数, 它代表一种选择, 表明工作 i 选择了候选伙伴 w_i . 在 GA 中, 一种选择代表一个染色体或个体. 例如 10 位自然数串

$$[5 \ 2 \ 6 \ 5 \ 6 \ 1 \ 3 \ 1 \ 4 \ 4]$$

是由 10 个工作组成的项目的一种选择或染色体. 它代表工作 1 选择了候选伙伴 5, 工作 2 选择了候选伙伴 2, 如此等等

3.3 适应函数

对于所要解决的问题, 目标函数是极大化的, 因此可直接将其作为适应函数

3.4 初始解的产生

每个初始解的产生过程如下:

第 1 步: 令 $i = 0$, 转第 2 步.

第 2 步: 令 $i = i + 1$, 如果 $i > n$ 且该选择可行, 则记下选择并停止; 如果 $i > n$ 且该选择不可行, 则转第 1 步; 如果 $i \leq n$, 则产生 $[0, 1]$ 随机数 r , 令 $k = 0$, 转第 3 步.

第 3 步: 令 $k = k + 1$, 转第 4 步;

第 4 步: 如果 $k/m_i \leq r$, 则令 $w_i = k$, 转第 2 步; 否则, 转第 3 步.

由初始化过程可以看出初始解是可行的

3.5 遗传算子的确定

选择单点交叉和单点变异作为 GA 的遗传算子. 单点交叉是指交换两个父代染色体的不同片断, 产生下一代染色体; 单点变异是指在染色体中任选一位, 并在候选伙伴范围内改变其基因值. 如果新产生的染色体不可行, 则重新进行遗传操作

3.6 选择策略的确定

选择常用的基于概率选择的转轮机制作为选择策略

3.7 算法停止准则

选择最大代数作为算法的停止准则

3.8 嵌入 F-PERT 的 GA 算法

嵌入 F-PERT 的 GA 算法步骤如下:

- 第 1 步: 问题初始化: 对工作的每个候选伙伴, 根据模糊工作时间确定 α 的截集
- 第 2 步: GA 参数设置: 设定种群大小 N_p , 最大代数 N_G , 交叉概率 p_c , 变异概率 p_m , $p_c + p_m < 1$
- 第 3 步: 计算前按所需费用由小到大的顺序排列每个工作伙伴
- 第 4 步: 由初始化过程产生初始种群 (N_p 个染色体)

$$w(j) = [w_1(j), w_2(j), \dots, w_n(j)]$$

$$j = 1, 2, \dots, N_p$$

令代数 $k = 0$, 初始最优解 $w^* = w_e, w_e = [1, 1, \dots, 1]$, 最优目标函数值 $F_s^* = 0$

第 5 步: 令 $k = K + 1$, 如果 $k > N_G$, 则转第 10 步; 否则, 执行第 6 步 ~ 第 9 步.

第 6 步: 对染色体 $w(j) (j = 1, 2, \dots, N_p)$ 执行以下两个子过程:

- 1) 调用 F-PERT 过程计算适值函数;
- 2) 计算

$$F_{\max} = \max\{F_s(j), j = 1, 2, \dots, N_p\}$$

$$F_{\min} = \min\{F_s(j), j = 1, 2, \dots, N_p\}$$

表 2 模糊作业时间及费用

隶属度		时 间															费用		
工作	伙伴	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16	17
A	A1					0.5	1.0	0.4											10
	A2				0.5	1.0	0.4	0.2											12.5
	A3					0.2	0.8	1.0	0.4										15
	A4					0.3	1.0	0.4											16
B	B1		0.5	1.0	0.4														16
	B2			0.5	1.0	0.5													18
	B3		0.5	1.0	0.4	0.2													21.5
C	C1					0.3	1.0	0.5											25
	C2					0.3	1.0	0.5	0.2										28
D	D1										0.2	0.8	1.0	0.4					9
	D2												0.3	1.0	0.4				11.5
	D3												0.2	1.0	0.4				15
	D4									0.8	1.0	0.4							17
	D5									0.2	0.8	1.0	0.4						20
E	E1							0.5	1.0	0.3									21
	E2					0.5	1.0	0.3											22
F	F1	0.5	1.0	0.4															14
	F2				0.5	1.0	0.4												16
G	G1										0.5	1.0	0.4						15
	G2											0.5	1.0	0.4					18
	G3										0.2	0.5	1.0	0.4					21.5
	G4							0.5	1.0	0.4									23
H	H1	0.4	1.0	0.3															12.6
	H2			0.4	1.0	0.6													14
	H3		0.4	0.6	1.0	0.6	0.1												15.8
	H4				0.4	1.0	0.6	0.2											18
	H5					0.4	1.0	0.6											20.3
I	I1		0.4	1.0	0.3														16
	I2					0.3	1.0	0.2											21
J	J1										0.3	0.8	1.0	0.5					11.4
	J2													0.3	1.0	0.5			15.5
K	K1													0.3	0.7	1.0	0.6	0.1	20
	K2														0.3	1.0	0.6		22
	K3														0.4	1.0	0.2		26
L	L1		0.5	1.0	0.3														9
	L2					0.3	1.0	0.3											11.6
	L3					0.5	0.8	1.0	0.4	0.3									15
M	M1	0.2	1.0	0.4															8
	M2					0.5	1.0	0.3											10.6
N	N1		0.5	1.0	0.6														7.6
	N2			0.3	0.6	1.0	0.4												9

$j^* = \arg\{F_s(j) = F_{\max}\}$ 即为相应的伙伴选择.

第 7 步: 如果 $F_{\max} > F_s^*$, 则令 $F_s^* = F_{\max}, w^* = w(j^*)$.

第 8 步: 对于 $j = 1, 2, \dots, N_p$, 计算选择概率

$$p(j) = F_s(j) / \sum_{j=1}^{N_p} F_s(j).$$

第 9 步: 为产生新的种群, 根据选择概率 $p(j)$ ($j = 1, 2, \dots, N_p$), 选择 $N_{p_c} = p_c \times N_p$ 个染色体进行单点交叉, 选择 $N_{p_m} = p_m \times N_p$ 个染色体进行单点变异. 如果新产生的染色体不可行, 则重新产生; 如果可行, 则转第 5 步.

第 10 步: 输出最优值 F_s^* 和最优解 w^* .

可以看出, 第 1 步 ~ 第 3 步是对算法进行初始化. 第 4 步是产生 GA 的初始种群. 第 5 步 ~ 第 9 步是 GA 的主要框架: 第 5 步检查停止准则. 第 6 步是算法的核心, 它首先在步骤 1) 调用 F-PERT 过程, 调度给定的选择, 并计算目标函数; 然后在步骤 2) 计算本代的最大和最小目标函数值. 第 7 步进行最优替换. 第 8 步计算适值和选择概率. 第 9 步进行遗传操作. 第 10 步用于确定最终结果.

4 实例研究

本文对不同规模的问题作了大量研究. 限于篇幅, 这里仅给出某制造厂试制一种新产品的实例, 其网络结构如图 1 所示.

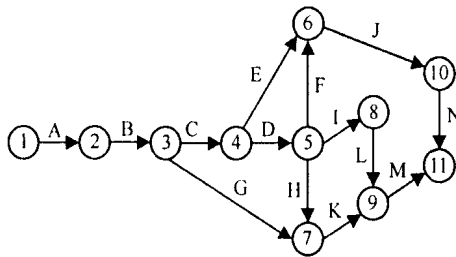


图 1 项目网络结构

项目的模糊交工期如表 1 所示; 各工序的应标候选者的模糊作业时间和费用需求如表 2 所示, 其中费用约束为 229.25.

表 1 模糊交工期

α 截集	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
完工时间	46	47	48	49	50	51	52	53	54

GA 的参数设置对算法的运行效率影响很大. 通过大量仿真实验, 可确定此类问题的合理参数组合为

$$p_c = 0.9, p_m = 0.04, N_p = 100, N_G = 500$$

伙伴挑选结果如表 2 中黑体所示, 最优值为 8.84, 实际费用为 202.3.

为验证嵌入 F-PERT 的 GA 方法的有效性, 表 3

将该算法的结果与枚举算法的结果进行比较. 可以看出, GA 所获得的解是最优的, 运行时间比枚举算法短, 运行效率大大提高.

表 3 GA 和枚举算法的运算结果

方法	达优率	最优	最差	平均值	CPU 时间
GA	99%	8.84	6.38	8.36	7'38"
枚举	—	8.84	—	—	24'43"

5 结论

伙伴挑选问题是敏捷制造动态联盟中的关键问题, 在满足费用约束条件下极大化完工满意度, 是动态联盟问题成功的关键因素. 本文给出了基于 F-PERT 和非线性整数规划的完工满意度最大的伙伴挑选问题的模型, 为基于模糊处理时间的伙伴挑选问题提供了描述方法, 为复杂的伙伴分析提供了有效的数学工具. 根据问题特点提出了嵌入 F-PERT 的 GA 方法, 并与枚举方法进行对比. 结果表明该方法具有较好的时间和优化综合性能, 对实际问题具有很强的适应性.

参考文献 (References)

- [1] Davulcu H, Kifer M, Pokorny L R, et al. Modeling and Analysis of Interactions in Virtual Enterprises [A]. *Proc of the Nth Int Workshop on Research Issues on Data Engineering: Information Technology for Virtual Enterprises* [C]. Sydney, 1999: 12-18.
- [2] Wolters M J J, Hoogeweegen M R. Management Supports for Globally Operating Virtual Organizations: The Case of KLM Distribution Systems [A]. *Proc of the 32nd Annual Hawaii Int Conf on System Science* [C]. Hawaii, 1999: 1-10.
- [3] Talluri S, Baker R C. Quantitative Framework for Designing Efficient Business Process Alliances [A]. *Proc of 1996 Int Conf on Engineering and Technology Management* [C]. Piscataway, 1996: 656-661.
- [4] Gunasekaran A. Agile Manufacturing: Enablers and an Implementation Framework [J]. *Int J of Production Research*, 1998, 36: 1223-1247.
- [5] Davis M, Sullivan D. Systems Design Framework for the Extended Enterprise [J]. *Production Planning and Control*, 1999, 10(1): 3-18.
- [6] Wang D W, Ye W H, Yung K L. A Heuristic Genetic Algorithm for Subcontractor Selection in a Global Manufacturing Environment [J]. *IEEE Trans on Systems, Man and Cybernetics: Part C*, 2001; 31 (2): 189-198.
- [7] Wu N, Su P. Selection of Partners in Virtual Enterprise Paradigm [J]. *Robotics and Computer-integrated Manufacturing*, 2005, 21(2), 119-131.

(下转第 174 页)

表2 数值计算结果

方案 编号	4	5	6	f^+	1	2	3	f^-	f
1	1	1	0.61	2.61	0	0.12	0.22	0.34	0.757
2	1	1	0.55	2.55	0.45	0	0.1	0.55	0.667
3	1	1	0.55	2.55	0.45	0.08	0	0.53	0.673
4	0	0	0.55	0.55	1	1	1	3	-0.816
5	0.46	0	0.55	1.01	1	1	1	3	-0.663
6	0.45	0.45	0	0.9	0.61	0.55	0.55	1.71	-0.27

由表2可以看出,归类于1的方案分类指标值都大于0,归类于2的方案分类指标值都小于0,故可取 $b=0$

6 结 论

本文给出一种基于改进的ELECTRE III的多属性决策分类方法。该方法以参照方案的分类作为训练样本,利用改进的ELECTRE III方法定义的有序方案对之间的赋值级别高于关系,通过线性规划模型得到符合决策者偏好的分类规则,从而对方案进行归类。这种方法克服了使用传统的ELECTRE III方法定义的有序方案对之间的赋值级别高于关系导出分类规则的困难。与其他分类方法相比,该方法将否决门限值考虑进来,从而能够更加客观、准确地对方案进行优劣分类。

参考文献(References)

- [1] 陈珏. 决策分析[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
(Chen T. *Decision Making Analysis*[M]. Beijing: Science Press, 1987.)
- [2] Roy B. *Multicriteria Methodology for Decision Making* [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996
- [3] Doumpos M. *Multicriteria Decision Aid Classification Methods*[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002
- [4] Zopounidis C. Multicriteria Classification and Sorting Methods: A Literature Review [J]. *European J of Operational Research*, 2002, 138(2): 229-246
- [5] Zopounidis C, Doumpos M. A Preference Disaggregation Decision Support System for Financial Classification Problems [J]. *European J of Operational Research*, 2001, 130(2): 137-148
- [6] Michael Doumpos. A Multicriteria Classification Approach Based on Pairwise Comparisons [J]. *European J of Operational Research*, 2004, 158(2): 378-389
- [7] Roy B. The Outranking Approach and the Foundations of ELECTRE Methods [J]. *Theory and Decision*, 1991, 31(2): 49-73
- [8] Mousseau V. Valued Outranking Relation in ELECTRE III Providing Manageable Disaggregation Procedures [J]. *European J of Operational Research*, 2004, 158(3): 528-547
- [9] Jacquet Lagreze. Preference Disaggregation: Twenty Years of MCDA Experience [J]. *European J of Operational Research*, 2001, 130(2): 233-245
- [8] Fischer M, Jahn H, Teich T. Optimizing the Selection of Partners in Production Networks [J]. *Robotics and Computer-integrated Manufacturing*, 2004, 20(6): 593-601
- [9] Hoffner Y, Field S, Grefen P, et al. Contract-driven Creation and Operation of Virtual Enterprises [J]. *Computer Networks*, 2001, 37(2): 111-136
- [10] 裴菁, 汪定伟. 策略联盟中带有协同因子的伙伴挑选模型 [J]. *控制与决策*, 2001, 16(增): 709-712
(Pei J, Wang D W. A Partner Selection Model with Compatible Factor of Dynamic Alliances [J]. *Control and Decision*, 2001, 16(S): 709-712)
- [11] 李帅, 郭亚军, 易平涛, 等. 基于模糊群决策的虚拟企业合作伙伴选择 [J]. *东北大学学报*, 2004, 25(3): 295-298
(Li S, Guo Y J, Yi P T, et al. Partner Selection Based on Fuzzy Group Decision Making for Virtual Enterprise Formation [J]. *J of Northeastern University*, 2004, 25(3): 295-298)
- [12] 汪定伟, 容启量, 叶伟雄. 企业动态结盟中的伙伴挑选模型及其软计算方法 [J]. *中国科学(E 辑)*, 2002, 32(6): 825-830
(Wang D W, Rong Q L, Ye W X. Partner Selection Model and Soft Computing Algorithm for Dynamic Alliance [J]. *Science in China (Series E)*, 2002, 32(6): 825-830)
- [13] Mitchell M. *An Introduction to Genetic Algorithms* [M]. London: The MIT Press, 1996
- [14] 杨松林. *工程模糊论方法及其应用* [M]. 北京: 国防工业出版社, 1996
(Yang S L. *Fuzzy Theory Method and Its Application in Engineering* [M]. Beijing: Defense Industry Publishing House, 1996)

(上接第170页)