

基于协商的虚拟企业完工风险管理

姜冠杰^{1,2}, 黄敏^{1,3}, 姜宏宇¹, 王兴伟¹

1. 东北大学信息科学与工程学院, 流程工业综合自动化国家重点实验室(东北大学), 辽宁 沈阳 110819;
2. 辽宁科技大学电子与信息工程学院, 辽宁 鞍山 114051; 3. 中国科学院沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016

基金项目: 国家杰出青年科学基金资助项目(71325002, 61225012); 国家自然科学基金资助项目(71071028, 70931001, 71021061); 高等学校博士学科点专项科研基金优先发展领域资助课题(20120042130003); 高等学校博士学科点专项科研基金资助课题(20110042110024); 中央高校基本科研业务费专项资金(N110204003, N120104001); 流程工业综合自动化国家重点实验室基础科研业务费资助(2013ZCX11)

通信作者: 黄敏, mhuang@mail.neu.edu.cn 收稿/录用/修回: 2013-06-27/2013-08-19/2013-09-24

摘要

针对虚拟企业中盟主与盟员企业之间存在信息不对称的情况, 研究了满足项目费用投资和子项目时序约束条件下的项目完工风险问题. 考虑到各子项目的工期受盟主分配费用的影响, 根据虚拟企业分布式决策的特点, 提出了一种新的基于协商的费用—工期完工风险管理框架, 并设计了三种让步策略, 从而满足按期完工概率的要求, 达到控制项目风险的目的. 该协商框架分为2层, 上层盟主和下层盟员企业. 盟主首先给盟员分配资金, 盟员根据所分配的资金确定子项目的三点完工时间, 盟主收到盟员的响应后, 基于计划评审法(program evaluation and review technique, PERT)对整个项目进行评价. 最后通过算例分析了不同让步策略下的协商情况, 结果表明该协商框架能有效管理完工风险.

关键词

虚拟企业
完工风险
协商
计划评审法
中图分类号: TP14
文献标识码: A

Negotiation Based Completion Risk Management for Virtual Enterprise

JIANG Guanjie^{1,2}, HUANG Min^{1,3}, JIANG Hongyu¹, WANG Xingwei¹

1. College of Information Science and Engineering, Northeastern University; State Key Laboratory of Synthetical Automation for Process Industries (Northeastern University), Shenyang 110819, China; 2. School of Electronic and Information Engineering, University of Science and Technology Liaoning, Anshan 114051, China; 3. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China

Abstract

The completion risk problem for a project is studied under the constraints of project investment and precedence of subprojects in the case where the owner and partners in a virtual enterprise (VE) have asymmetric information. In view of how each subproject's completion time is affected by allocated cost from the owner, and by the distribution feature of decision-making in VE, a novel cost-time based completion risk management framework by negotiation is proposed to meet completion probability requirements and control project risk. At the same time, three concession tactics are designed. The framework has two levels: the top-level owner, and the base-level partners. The partners determine the three-estimate times based on allocated cost from the owner, and then feed them back to the owner. After receiving partners' responses, the owner evaluates them based on program evaluation and review technique (PERT). Finally, a numerical example is studied under these three tactics, and the results show that this framework can achieve effective completion risk management.

Keywords

virtual enterprise;
completion risk;
negotiation;
program evaluation and review (PERT)

1 引言

虚拟企业是多个组织为了响应市场需求迅速组建的动态联盟. 它们具有共同的工作环境, 并整合所有成员的资

源. 每个伙伴都带来自己的优势和核心竞争力, 因此虚拟企业的成功取决于参与各方的共同努力^[1-4]. 然而虚拟企业项目在实施过程中不可避免地会受到不确定因素的影响, 特别是各成员在协作中可能存在矛盾与冲突, 影响项目进

度,导致项目不能按期完工,构成项目完工风险,最终可能造成虚拟企业关系的破裂,给企业造成不可挽回的损失^[2].因此,对完工风险进行管理成为虚拟企业成功运行的关键.

对于虚拟企业的完工风险问题,国内外学者做了一些研究,取得了一定的成果.但多采用集中式方法,也就是虚拟企业的盟主根据各盟员企业的信息做出决策^[2,4-7],忽略了虚拟企业成员的多样性和分布性.由于虚拟企业各成员在协作中存在的自私性,可能导致矛盾与冲突,若不合理解决将会导致协作风险、道德风险等问题,所以需要通过对一定的手段解决.考虑到绝大多数冲突都是非对抗性的,可通过协商方式解决.

协商是一个决策过程,在此过程中,两个或更多的参与者各自做出决策,同时为了各自的利益相互之间进行交流,协商的结果使双方都有收获^[8-9].

文[10]针对模具虚拟企业工期协商过程的不确定性,提出了串行序贯协商机制,用以确定项目工期,但是没有考虑到任务间存在并行、串并行的情况.文[11]研究了在虚拟企业组建过程中,通过各参与企业轮流协商报价,自主形成虚拟企业的过程.文[12]将协商应用到协同项目进度管理中,建立了工期—费用模型,提出了以协商难度为优化目标的项目进度监控算法,但是忽略了现实中费用决定工期的问题.文[13]针对工程建设中的工期优化问题,建立了业主—承包商公平关切的工期优化收益共享谈判模型.但该文献只关注业主对一个承包商的谈判,没有考虑多个承包商的情况.文[14]提出一种基于联盟形成的协商协议,解决了材料供应商供不应求时的伙伴选择问题.文[15]针对现实协商中的买卖双方的限制与偏好的模糊性,提出了一种新的模糊路基混合协商机制,帮助买卖双方抓住市场机遇的同时又能看清自己的资源约束.文[16]建立了一体化存储模型,引入协商系统进行定价.上述文献虽然应用协商理论范围较广,但将协商应用到风险管理的较少.

然而,实际中子项目的完工时间受盟主分配资金的影响,是不确定的,会对项目的完工时间造成威胁,构成完工风险^[2].考虑到项目以网络形式组织生产,根据虚拟企业分布式决策的特点^[17-19],针对虚拟企业中盟主与盟员企业之间存在信息不对称的情况,本文建立了基于费用—工期的完工风险协商框架,并分别设计了三种让步策略:(1)对承担所有关键子项目的盟员增加费用.(2)对承担关键子项目中完工工期最长的盟员增加费用.(3)对承担关键子项目中单位时间花费最少的盟员增加费用.盟主为盟员企业分配预算资金,盟员企业在分配到的预算资金下选择三点完工时间,然后将方案反馈给盟主,盟主基于PERT对整个项目进行评价.经过多轮协商后,最终确定满足期望完工时间的完工概率,目标是保证整个项目按期完工,从而降低完工风险.最后通过实例展示了整个协商过程,证明了该协商框架的有效性.

2 问题描述与模型框架

虚拟企业在完成伙伴选择之后,盟主需要与盟员企业

进行成本和时间的协商,以确保项目按时完工.考虑到盟主对各子项目投资费用的多少决定了各子项目的工期,并进而影响整个项目的完工期和完工概率.本文提出从完工概率的角度来衡量完工风险,这样,问题就定义为在满足项目总投资费用和子项目时序约束的条件下,通过协商,使项目的按期完工概率满足项目要求,实现对完工风险的管理.

假设虚拟企业所承担的项目可分解为 n 个子项目,盟主将第 i 个子项目分配给第 i 个盟员企业承担, $i = 1, 2, \dots, n$ (盟员间是独立的).盟主的整个项目投资为 W ,期望完工时间为 D 天,期望按期完工概率为 P .

这里假设:

- (1) 各个子项目之间是相互独立的,每个子项目由固定的盟员企业完成;
- (2) 盟员根据所需费用估计子项目的完工时间;
- (3) 协商成本为 0.

整个协商过程如图 1 所示.

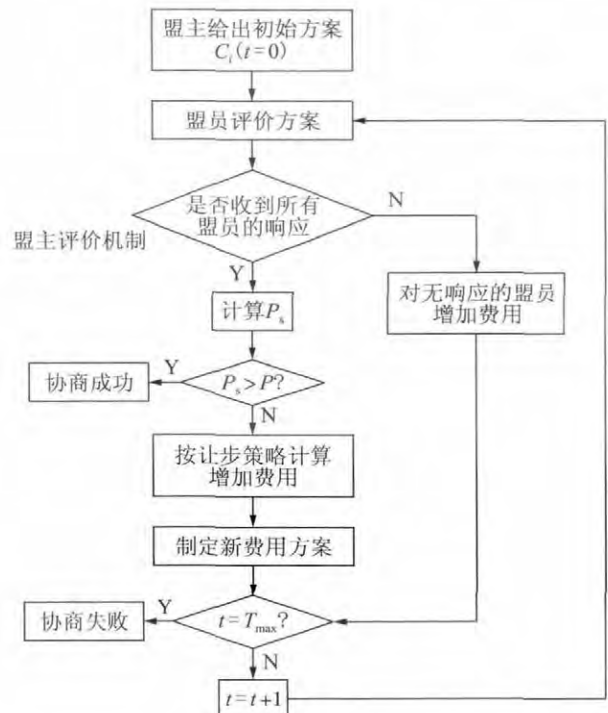


图 1 协商流程图

Fig.1 Negotiation procedure

Step1 首先在协商时刻 $t = 0, t \in (0, 1, \dots, T_{max})$,盟主提出方案,即盟主根据经验分配给第 i 个盟员的资金为 $C_i(t)$,满足 $\sum_{i=1}^n C_i(t) < W$.

Step2 盟员对盟主的方案进行评价.如果盟员接受该方案,则产生响应,根据盟主的费用报价估计子项目 i 的 $[a_i(t), m_i(t), b_i(t)]$ (其中 $a_i(t)$ 表示第 i 个子项目的最乐观时间, $m_i(t)$ 表示第 i 个子项目的最可能时间, $b_i(t)$ 表示第 i 个子项目的最悲观时间),并将其反馈给盟主,转 Step4; 否则,不接受该方案,无响应,转 Step3.

Step3 盟主根据式 (1) 对相应盟员增加费用, 转 Step2.

$$\Delta C_i(t) = \left(W - \sum_{i=1}^n C_i(t) \right) \frac{C_i(t=0)}{\sum_{i=1}^n C_i(t=0)} \quad (1)$$

Step4 若盟主收到所有盟员的响应(即没有盟员不接受报价), 盟主将按照自我响应评价机制计算完工概率 P_s .

Step5 如果 $P_s > P$, 则协商成功, 转 Step8; 否则转 Step6.

Step6 盟主根据让步策略对某个或某几个子项目增

$$[a_i(t) \quad m_i(t) \quad b_i(t)] = \begin{cases} 0 & 0 < C_i(t) \leq l_1 \\ [a_i^1(t) \quad m_i^1(t) \quad b_i^1(t)] & l_1 < C_i(t) \leq l_2 \\ [a_i^2(t) \quad m_i^2(t) \quad b_i^2(t)] & l_2 < C_i(t) \leq l_3 \\ \vdots & \vdots \\ [a_i^x(t) \quad m_i^x(t) \quad b_i^x(t)] & l_x < C_i(t) \end{cases} \quad (2)$$

其中, $0 < l_1 < l_2 < l_3 < \dots < l_x$.

3.2 盟主响应评价机制

在本模型中盟主采用基于 PERT 的评价机制. 评价过程如下:

Step1 计算子项目 i 的期望工期和方差估计值.

盟主根据第 i 个盟员的响应 $[a_i(t), m_i(t), b_i(t)]$, 计算子项目 i 的期望完工时间与方差, 这里假设子项目 i 的完工时间服从正态分布.

$$\mu_i(t) = \frac{a_i(t) + 4m_i(t) + b_i(t)}{6} \quad (3)$$

$$\sigma_i^2(t) = \left(\frac{b_i(t) - a_i(t)}{6} \right)^2 \quad (4)$$

Step2 找到关键路径, 计算整个项目的期望完工时间 $T_E(t)$ 和方差 $\sigma_E^2(t)$, J 为关键路径上的子项目集合.

$$T_E(t) = \sum_{k \in J} \frac{a_k(t) + 4m_k(t) + b_k(t)}{6} \quad (5)$$

$$\sigma_E^2(t) = \sum_{k \in J} \left(\frac{b_k(t) - a_k(t)}{6} \right)^2 \quad (6)$$

Step3 计算项目的完工概率 P_s .

最终计算出项目在 D 天内的完工概率

$$P_s(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_E(t)} \int_{-\infty}^D e^{-\frac{(x-T_E(t))^2}{2\sigma_E^2(t)}} dx \quad (7)$$

Step4 确定是否满足项目需求条件.

当完工概率 P_s 大于 P 时, 盟主将接受该时刻协商结果, 协商成功. 该时刻的费用方案即为最终费用分配方案; 当完工概率 P_s 不大于 P 时, 盟主将采取让步策略对某个或某几个子项目增加费用 $\Delta C_k(t)$, 得到新一轮的费用方案.

4 让步策略

本协商模型中协商策略为盟主单方让步策略, 包括让步对象的选择及费用增加幅度. 当某次协商后计算得到的完工概率不满足完工风险要求即完工概率 P_s 不大于 P 时, 盟主将根据让步策略选择对某个或某几个盟员企业增加费用.

策略 1 对承担所有关键子项目的盟员企业增加费用.

加费用 $\Delta C_k(t)$ (见第 4 节), 制定新的费用方案, $t = t + 1$.

Step7 如果 $t < T_{\max}$, 重复 Step2 ~ Step4; 否则转 Step8.

Step8 协商终止.

3 评价机制

3.1 盟员评价机制

盟员 i 在接收到盟主的方案 $C_i(t)$ 后, 将根据自身评价机制给出子项目 i 的三点时间估计值. 当盟主的费用过低时, 盟员将不接受该方案, 无响应.

$$\Delta C_k(t) = \left(W - \sum_{i=1}^n C_i(t) \right) \frac{\mu_k(t)}{\mu_C(t)} \frac{t}{T_{\max}}, k \in J \quad (8)$$

其中, J 为关键路径上的子项目集合, t 为协商时刻, $t \in (0, 1, \dots, T_{\max})$, $\Delta C_k(t)$ 为协商时刻 t 子项目 k 增加的费用, W 为项目总投资, $C_i(t)$ 为协商时刻 t 子项目 i 的费用, n 为项目包含的子项目数目, $\mu_k(t)$ 为协商时刻 t 子项目 k 的期望完工时间, $\mu_C(t)$ 为协商时刻 t 项目关键路径估计完工期的期望.

策略 2 对承担关键子项目中完工期最长的盟员企业增加费用.

$$\Delta C_k(t) = \left(W - \sum_{i=1}^n C_i(t) \right) \frac{t}{T_{\max}} \quad (9)$$

$$k = \arg \max \{ \mu_h(t), h, k \in J \}$$

其中, $\mu_h(t)$ 为协商时刻 t 子项目 h 的期望完工时间.

策略 3 对承担关键子项目中单位时间花费最少的盟员企业增加费用.

$$\Delta C_k(t) = \left(W - \sum_{i=1}^n C_i(t) \right) \frac{t}{T_{\max}} \quad (10)$$

$$k = \arg \min \left\{ \frac{C_h(t)}{\mu_h(t)}, h, k \in J \right\}$$

其中, $C_h(t)$ 为协商时刻 t 子项目 h 的费用.

5 实例分析

某项目由 10 个子项目组成, 每个盟员承担一个子项目. 项目盟主计划投入总资金 $W = 200$ 万元, 预计在 $D = 118$ 天内完成本产品生产, 期望按期完工概率 $P = 70\%$. 规定协商最后期限 $T_{\max} = 10$. 该产品生产网络计划图见图 2.

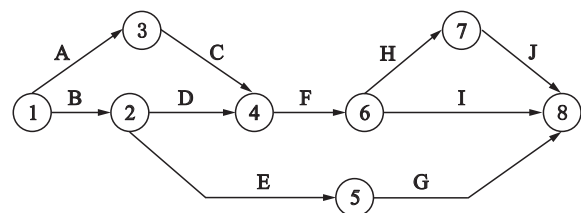


图 2 生产网络图

Fig.2 The network of production

盟主对各子项目的初始费用报价如表 1 所示. 各盟员企业评价机制如表 2 所示.

表 1 盟主对各子项目的初次费用报价
Tab.1 Subprojects' initial cost quotes proposed by the owner

子项目	盟员企业	初始费用 $C_i(t=0)$ (万元)
A	A_1	20
B	A_2	5
C	A_3	30
D	A_4	9
E	A_5	28
F	A_6	10
G	A_7	25
H	A_8	10
I	A_9	31
J	A_{10}	20

表 2 各盟员企业完工时间的三点估计及费用

Tab.2 Partners' three-estimate completion times and cost

盟员企业 A_i	三点时间估计值(天)	费用建议 $C_i(t)$
A_1	[19 22 29]	(16, 18]
	[17 20 26]	(18, 22]
	[15 17 23]	(22, 26]
A_2	[45 48 54]	(3.5, 4.5]
	[42 45 51]	(4.5, 5.5]
	[41 43 50]	(5.5, 6.5]
A_3	[39 42 53]	(24, 28]
	[35 40 49]	(28, 32]
	[33 37 42]	(32, 36]
A_4	[45 48 54]	(7, 9]
	[42 45 51]	(9, 11]
	[41 43 50]	(11, 13]
A_5	[40 44 52]	(24, 28]
	[38 40 47]	(28, 32]
	[35 37 45]	(32, 36]
A_6	[19 20 26]	(7, 9]
	[16 18 23]	(9, 11]
	[15 17 22]	(11, 13]
A_7	[30 34 32]	(21, 24]
	[26 30 39]	(24, 26]
	[25 27 37]	(26, 30]
A_8	[15 18 24]	(8, 10]
	[14 15 19]	(10, 13]
	[11 13 18]	(13, 16]
A_9	[34 38 47]	(26, 28]
	[32 35 43]	(28, 32]
	[27 30 40]	(32, 36]
A_{10}	[24 27 35]	(15, 18]
	[22 25 33]	(18, 22]
	[20 22 30]	(22, 25]

本问题中协商模型算例分析了单一让步策略下和不同让步策略下的协商情况. 采用 Java 语言编程实现.

5.1 单一让步策略下的协商结果分析

在此, 我们采用让步策略 1, 实现整个协商过程. 经过协商计算, 当协商终止时刻 $t=5$ 时, 项目完工概率为 0.922, 大于期望完工概率 0.7, 此时项目总分配费用 196.674 万元, 低于总投资 200 万元.

表 3 给出了在让步策略 1 下每个子项目的最终费用.

表 3 最终费用协商方案

Tab.3 The final cost allocation plan by negotiation

盟员企业	获得费用(万元)
A_1	21.404
A_2	4.448
A_3	33.666
A_4	9.785
A_5	27.0
A_6	11.821
A_7	24.0
A_8	11.652
A_9	30.0
A_{10}	22.897

由此可以知道: 当盟主对盟员企业的费用和完工时间不了解时, 通过协商, 最终确定项目的完工时间和完工费用, 以及盟主对盟员企业的费用分配, 满足项目的各项需求, 从而达到控制完工风险的目的.

5.2 不同让步策略下的协商结果分析

进一步讨论了三种不同让步策略下完工概率随协商次数的变化, 见图 3. 由于让步策略 3 在让步对象选择中考虑费用对工期的影响作用, 即选择单位工期费用最少的盟员进行让步, 所以其可以使费用对工期的影响效果发生最大作用, 从而达到更大的完工概率. 所以当完工风险要求设定较高时适宜选用让步策略 3. 而让步策略 1 由于在每轮协商中同时对多个盟员企业进行费用调整而使费用对完工概率的影响减弱; 让步策略 2 与策略 3 相比则由于在选择让步对象时只考虑工期长短, 而不能使费用对工期的影响效果发生最大作用.

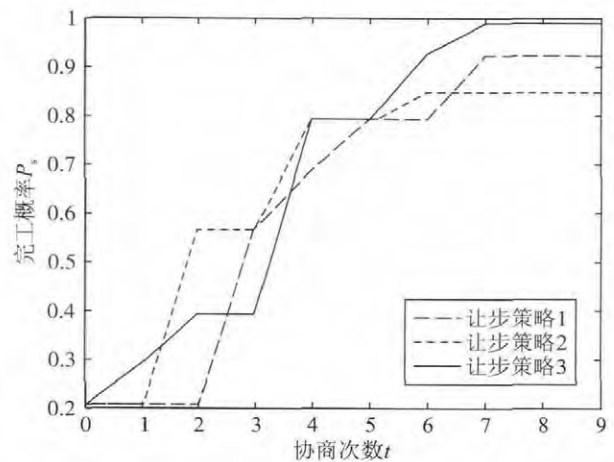


图 3 完工概率变化曲线

Fig.3 The variation curves of success probability

由此可以得到当项目的完工概率要求较高时,选用让步策略 3 效果较好。决策者根据不同按期完工概率的要求,选择适合的让步策略,有利于控制完工风险。

6 结论

风险管理对于虚拟企业运作的成败至关重要。本文研究了固定伙伴下的完工风险控制问题。针对盟主与盟员企业信息不对称情况下费用决定子项目的工期问题,运用分布式决策的思想,提出了基于费用—工期的协商框架,并

设计了三种让步策略。最后通过实例展示了整个协商过程。计算结果表明本文提出的协商框架可以为保证项目的完工提供一个有效的方案,且当项目要求完工概率大时应选用对承担关键子项目中单位时间花费最少的盟员企业增加费用的让步策略。本文假定各子项目之间互相独立,实际上子项目之间存在关联的问题也值得深入研究。此外,本文考虑的是基于费用—工期的协商,现实中,项目的质量问题也不容忽视,未来可研究基于费用—工期—质量的协商问题。

参考文献

- [1] Martinez M T, Fouletier P, Park K H, et al. Virtual enterprise-organization, evolution and control[J]. International Journal of Production Economics, 2001, 74(1/2/3): 225-238.
- [2] 冯蔚东,陈剑,赵纯均. 虚拟企业中的风险管理与控制研究[J]. 管理科学学报, 2001, 4(3): 1-8.
Feng W D, Chen J, Zhao C J. Study on risk management and control for virtual enterprises[J]. Journal of Management Sciences in China, 2001, 4(3): 1-8.
- [3] 卢福强,薛岩松. 基于随机层次分析法的虚拟企业风险评价[J]. 信息与控制, 2012, 41(1): 110-116.
Lu F Q, Xue Y S. Stochastic analytic hierarchy process based risk evaluation for virtual enterprise[J]. Information and Control, 2012, 41(1): 110-116.
- [4] Ip W H, Huang M, Yung K L, et al. Genetic algorithm solution for a risk-based partner selection problem in a virtual enterprise[J]. Computers & Operations Research, 2003, 30(2): 213-231.
- [5] Huang M, Ip W H, Yang H M, et al. A fuzzy synthetic evaluation embedded tabu search for risk programming of virtual enterprises[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 116(1): 104-114.
- [6] Ye F, Li Y N. Group multi-attribute decision model to partner selection in the formation of virtual enterprise under incomplete information[J]. Expert Systems with Applications, 2009, 36(5): 9350-9357.
- [7] Madadi M, Iranmanesh H. A management oriented approach to reduce a project duration and its risk (variability) [J]. European Journal of Operational Research, 2012, 219(3): 751-761.
- [8] Raiffa H. The art and science of negotiation[M]. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press, 1982: 35-40.
- [9] Lopes F, Wooldridge M, Novais A Q. Negotiation among autonomous computational agents, principles, analysis and challenges[J]. Artificial Intelligence Review, 2008, 29(1): 1-44.
- [10] 苏志龙,陈庆新,陈新,等. 基于协商的模具虚拟企业生产项目规划[J]. 中国机械工程, 2002, 13(22): 1931-1936.
Su Z L, Chen Q X, Chen X, et al. Negotiation-based project planning of virtual enterprise for die and mould[J]. China Mechanical Engineering, 2002, 13(22): 1931-1936.
- [11] 陈亚林,王先甲,雷卫中. 虚拟联盟组建过程中的内部企业协商报价策略及其仿真[J]. 计算机集成制造系统, 2008, 14(6): 1206-1212.
Chen Y L, Wang X J, Lei W Z. Internal bargaining pricing strategies and simulation for virtual enterprise forming process[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2008, 14(6): 1206-1212.
- [12] 李英杰,陈庆新,陈新度,等. 协同制造项目进度管理[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(11): 2145-2153.
Li Y J, Chen Q X, Chen X D, et al. Project scheduling management in collaborative manufacturing[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2007, 13(11): 2145-2153.
- [13] 李真,孟庆峰,盛昭瀚. 考虑公平关切的工期优化收益共享谈判[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(1): 82-91.
Li Z, Meng Q F, Sheng Z H. Revenue-sharing negotiation under time coordination based on fairness preference[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2013, 33(1): 82-91.
- [14] Yu F, Kaihara T, Fujii N. Coalition formation based multi-item multi-attribute negotiation of supply chain networks[C]//Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems. Amsterdam, Netherland: Elsevier, 2013: 85-90.
- [15] Jain V, Deshmukh S G. Dynamic supply chain modeling using a new fuzzy hybrid negotiation mechanism[J]. International Journal of Production Economics, 2009, 122(1): 319-328.
- [16] Chen L H, Kang F S. Integrated inventory models considering the two-level trade credit policy and a price-negotiation scheme[J]. European Journal of Operational Research, 2010, 205(1): 47-58.
- [17] Schneeweiss C. Distributed decision making a unified approach[J]. European Journal of Operational Research, 2003, 150(2): 237-252.
- [18] Chen H N, Zhu Y L, Hu K Y, et al. Virtual enterprise risk management using artificial intelligence[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2010, 2010(ID572404): 1-20.
- [19] Huang M, Lu F Q, Ching W K, et al. A distributed decision making model for risk management of virtual enterprise[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(10): 13208-13215.

作者简介

姜冠杰(1974-),女,博士生. 研究领域为项目风险管理。

黄敏(1968-),女,博士,教授,博士生导师. 研究领域为物流与供应链管理,生产计划、调度与存储控制,风险管理和软计算等。