

文章编号:1000-582X(2010)07-018-05

面向社群的协同产品设计网络组建方法

赵灿灿, 罗 乐, 张晓冬, 邱君降

(重庆大学 机械工程学院, 重庆 400044)

摘要:面向社群的广域产品设计网络是一种协同产品开发的新模式。该模式中,协作伙伴的选择范围扩展到广域的网络社群成员。由于无法准确了解候选社群成员的准确属性,为设计网络的组建带来了困难。针对这一问题,提出了一种基于招投标机制的社群型协同产品设计网络组建方法,给出了基于扩展合同网协议的招投标流程。基于投标信息,同时考虑投标方的虚报利润,采用基于遗传算法的多轮二次招投标求解满足项目周期前提下项目总支付款最低的子项目最优分配方案,使协同产品设计网络的组建成本最低。算例分析表明,该方法能有效消除投标方的虚报利润,为面向社群的协同产品设计网络的组建提供了一种可操作的方法。

关键词:协同产品设计;网络组织;招投标;合同网;遗传算法

中图分类号: TB472

文献标志码: A

Constructing organization network for community-oriented collaborative product design

ZHAO Can-can, LUO Le, ZHANG Xiao-dong, QIU Jun-jiang

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: Community-oriented collaborative design is an emergent form of collaborative product development, in which the range of collaborative partners extends to wide area community members. It is difficult to construct the organization network because the accurate features of the wide area community members are hard to access. Aiming at this problem, an organization network constructing method based on bidding mechanism is proposed. First, the bidding process based on contract net with confirmation protocol (CNCP) is presented. Then, considering the false profit declared by the bidders, a multiple rounds bidding process combined with genetic algorithm (GA) is used to get the best sub-projects allocation scheme, in which the total payment of sub-projects is minimal and the project due time is satisfied. A case analysis shows that the method can eliminate the false profit declared by the bidders and provides an operable way to construct network organization for community-oriented collaborative design.

Key words: collaborative product design; network organization; bidding; CNCP; genetic algorithm

随着兴趣社群、创意社群、领先用户社群、设计师联盟等专业网络社群组织的出现及快速发展,面向社群的协同产品设计已成为一种协同产品开发的

新模式。根据设计项目的要求组建协同设计网络是实现协同设计所面临的首要问题,很大程度上决定设计目标能否顺利实现^[1-3]。针对设计网络的组建,

收稿日期:2010-02-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70501036);教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-08-0608)

作者简介:赵灿灿(1984-),女,重庆大学博士研究生,主要从事协同产品开发管理的研究。

张晓冬(联系人),女,重庆大学教授,博士生导师,(E-mail)xdzhang@cqu.edu.cn。

许多学者提出了各种协作伙伴的选择算法,这些算法大多通过建立数学模型,并设置一些求解条件进行计算。典型的如文献[4]采用分层次比较法选优,考虑实际问题中的不确定因素,提出了一种新的模糊规划方法用于虚拟企业合作伙伴的选择;文献[5]考虑运行成本、反应时间和失败风险等因素,构造了一种克隆选择算法用于求解动态联盟伙伴选择问题;文献[6]考虑候选者的个人信息和候选者之间的协作信息,提出了一种非支配排序遗传算法以解决多功能型团队的成员选择问题;文献[7]考虑项目成本、工期、能力约束和失败风险等因素,设计了基于规则的遗传算法用于求解虚拟企业伙伴选择问题;文献[8]考虑成本、时间和质量等因素,提出一种基于蚁群算法的虚拟企业伙伴选择方法;文献[9]考虑子项目之间的先序关系和工期约束,提出了一种基于粒子群优化算法的虚拟企业伙伴选择方法;文献[10]以联盟内部成本、整合成本和响应时间等为优化目标,提出了一种基于证据理论和遗传算法的动态联盟伙伴优化选择方法。上述方法用于面向社群的协同设计网络的组建,尚存在以下两方面的问题:1)已有算法是由盟主在自己熟悉的若干候选伙伴中,通过多指标综合评价的特定算法综合优选而组建设计网络。然而,在面向社群组建的广域产品设计网络中,协作伙伴的选择范围从盟主所熟悉的合作伙伴扩大到并不熟悉的广域网络社群成员,因此无法准确了解所有候选社群成员的全部属性信息,为上述方法的使用带来困难。2)已有算法在考虑成本因素时,对候选成员的私利性鲜有考虑,忽略了其提供的任务报价等指标可能存在大量虚报成分,导致最终结果仍包含大量虚报成分,增加了盟主的支付成本。

为解决上述两方面问题,笔者提出了一种基于招投标机制的社群型协同产品设计网络组建方法,给出了招投标机制及流程,设计了基于投标信息及遗传算法的多轮次二次投标,最终得到满足项目周期前提下项目总支付款最低的设计网络组建方案。

1 面向社群的招投标流程

扩展合同网协议(Contract Net with Confirmation Protocol, CNCP)^[11]广泛应用于解决资源和任务的分配问题,尤其适合于招投标双方信息共享程度不高的情况。基于此协议,笔者设计了面向社群的设计网络招投标流程,其过程如图 1 所示。

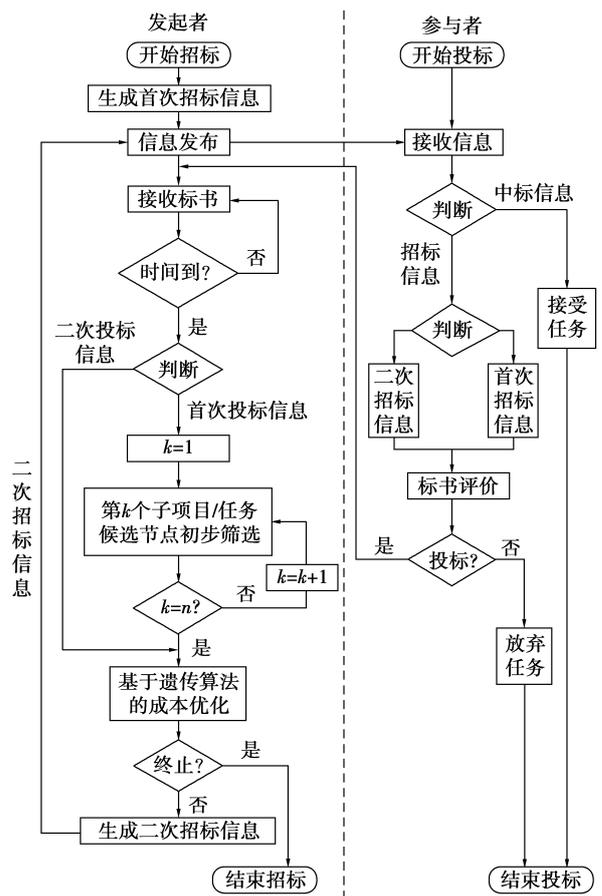


图 1 基于扩展合同网协议的招投标流程

设企业 A 无法独立完成某产品的设计项目,可将该项目分解为 n 个子项目,用集合表示为 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$,通过在相关的社群中进行招标的形式组建产品设计网络。

首先,企业 A 向社群所有相关成员发布标书。针对某个子项目 P_k ,可在标书中发布如下相关信息

$$P_k = \{N_k, T_k, Q_k, F_k, I_k\}, \quad (1)$$

式中: N_k 为项目的编号; T_k 为项目的时间参数(开始时间、完工时间); Q_k 为完成子项目 P_k 的基本资质要求; F_k 为该设计子项目 P_k 的相关技术参数; I_k 为投标者需提供的投标信息, I_k 用 8 元组表示成 $I_k = \{\text{经营状态, 设计能力, 研发能力, 研发经验, 协作经验, 完成时间, 报价方案}\}$ 。

社群中的相关成员接收到标书信息后,根据标书信息判断是否进行投标,若投标,则成为该项目的候选结点,并提供标书要求的投标信息。

由于面向广域社群进行招标,如果招标者对所有参与投标的候选结点均进行协商招标过程,会导致合同网的负荷过重而使整个过程无法操作。为此,根据候选结点提供的投标信息,对其进行初步筛选^[12-13],选择较优候选结点参与下一步的协商招标。

筛选过后,招标方再与投标方进行基于遗传算法的协商与确认,最后求得满足项目周期前提下项目总支付款最低的最优候选结点组合。

2 基于遗传算法的多轮二次投标

由于协作伙伴的选择范围从盟主所熟悉的合作伙伴扩大到并不完全熟悉的广域网络社群,候选结点的报价中可能含有大量的虚报成分。从招标者的角度,希望组建的设计网络具有最小的组建成本。为此提出利用遗传算法^[14-15]结合协商招投标从众多的候选结点中得到成本最低的最优结点组合。

设候选结点 i 接收到项目 P_k 的招标信息后,根据自身的能力估算完成该项目所需成本 C_{ki} , 提出报价

$$M_{ki} = C_{ki} + G_{ki} + \delta_{ki}。 \quad (2)$$

式中: G_{ki} 为可接受的最低利润; δ_{ki} 为投标方的虚报利润。

从盟主的角度出发,新产品设计网络的组建目标就是在保证工期 D 条件下,求解总支付款 M_{sum} 的最小值问题,数学模型表示为

$$M_{\text{sum}} = \min\left(\sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ki} M_{ki}\right), \quad (3)$$

$$D \geq \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m x_{ki} D_{ki}, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ki} = 1, \quad (5)$$

$$x_{ki} = 1 \text{ 或 } 0。 \quad (6)$$

式中: D_{ki} 表示第 i 个候选者标书中提供的完成 k 项目所需时间; $x_{ki} = 1$ 表示第 k 个子项目由第 i 个候选者完成, $x_{ki} = 0$ 表示第 k 个子项目不指派给第 i 个候选者。针对这一优化目标,当所有候选结点提出报价后,招标方采用遗传算法,利用交叉算子优化项目分配组合,再利用变异算子逐步降低投标方的虚报利润;将降价结果反馈给候选结点进行协商,通过多轮二次投标,逐步收敛到最优解。

为招标方所设计的遗传算法具体如下:

1) 基因编码。通过首轮招标得到的几组的项目分配方案可以看作是遗传算法的第一代染色体,种群中的任一个基因 G_{ij} 代表第 i 条染色体的第 j 个子项目的报价,染色体采用整数编码,每条染色体基因的总和就是其适应度,通过式(3)可知优化的目标就是求取适应度最小的最优解。

2) 交叉算子。交叉换位是为了取得项目分配的

优化组合,初步降低盟主方的总支付额。为了快速取得良好的优化解,在此采用了单点交叉和两点交叉。对于种群中的每条染色体,随机分配一个概率,对于概率小于交叉概率 P_x (典型的交叉概率的取值范围为 $0.40 \sim 0.99$, 本算法取 0.90) 的染色体集合,两两配对实施单点交叉和两点交叉。

3) 变异算子。变异的目的是去除投标方报价中的虚报利润,进一步降低招标方的总支付款,其调整量由变异因子 k 决定,为快速降低支付款,初期可采用较大的变异因子。当出现第一个候选结点因支付款过低而退出时,进行一次反向变异后再采用较小的变异因子。本算法变异因子初期采用的取值范围为 $[20, 30]$, 后期采用 $[1, 10]$ 。发生变异的染色体由变异概率 P_m 确定,典型的变异概率的取值范围为 $0.0001 \sim 0.1000$ (为了快速地降低总支付额,本算法加大变异概率,取为 0.3000), 发生变异的基因由随机数 $n \in (1, N_{\text{var}})$ 确定,其中 N_{var} 是染色体基因的个数,即子项目的个数。

4) 进化。染色体的进化由二次招投标完成。经过交叉和变异的染色体种群,按照各自适应度从小到大由招标方逐个发布,将各子项目招标信息发布给对应的各候选结点。如果招标方提供的支付款大于或等于投标方的项目成本与可接受的最低利润之和,各投标方就投标认可,每一项基因(支付款)都能满足至少有一个投标方认可的染色体组成下一代染色体种群,如果连续几代染色体种群中最优的染色体的适应度和种群的适应度不再下降,那么优化结束,否则转到步骤 2)。

3 算例分析

下面通过一个算例说明本算法的应用过程。设一个设计项目可以分解为 7 个子项目,分别为 P_1, P_2, \dots, P_7 , 经过首轮招投标 P_1 共有 10 个候选伙伴参与竞标, P_2 至 P_7 依次为 13、9、21、12、7、11 个。经过初步筛选后,10 个候选伙伴 $B_1 \sim B_{10}$ 完成对应子项目的项目成本及最低盈利额如表 1 所示,这些信息为投标方的私有信息。

在首轮招投标以及初步筛选时,得到的一些子项目分配方案,可将其作为第一代染色体,如表 2 所示,其每一行代表一条染色体。考虑到候选结点的自利性,报价包含虚报利润成分,各候选结点的报价均大于其设计成本与最低利润之和。

表 1 各投标方完成对应子项目的项目成本及最低盈利额

投标方	项目成本/元							最低盈利额/元						
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
B_1	1 410			870				420			170			
B_2		1 800		790		960			350	200		280		
B_3	1 320	1 680			2 300		2 490	380	400			460		380
B_4			2 100	900						230	190			
B_5	1 370	1 810		830			2550	390	380		180			400
B_6	1 430			800		920		400			210		260	
B_7		1 750			2 230		2 610		310			500		390
B_8			2 120		2 400					310		460		
B_9	1 450		2 000		2 430		2 470	320		190		420		410
B_{10}	1 400			760		980		370			210		240	

表 2 第一代染色体对应的报价方案

编号	染色体基因(报价)						
1	1 823	2 235	2 460	1 173	2 855	1 313	3 074
2	1 891	2 235	2 551	1 109	2 855	1 313	2 992
3	1 823	2 307	2 314	1 148	2 962	1 367	3 136
4	1 878	2 166	2 551	1 091	2 983	1 349	3 000
5	1 908	2 213	2 460	1 125	2 855	1 313	2 992
6	1 914	2 307	2 314	1 173	2 962	1 367	3 136
7	1 878	2 213	2 314	1 091	2 962	1 349	3 074
8	1 891	2 166	2 460	1 109	2 983	1 313	3 000
9	1 914	2 166	2 551	1 148	2 875	1 349	3 074
10	1 908	2 235	2 460	1 091	2 875	1 313	2 992

采用所设计的遗传算法,在经过第 66 轮二次招标后得到最优解,即(1 701, 2 061, 2 191, 971, 2 731, 1 181, 2 871),对应中标的投标方为($B_3, B_7, B_9, B_{10}, B_7, B_6, B_3$),总支付款为 13 707 元,而优化前该结点组合的总支付款为 14 562 元。每轮次(R)最优染色体的适应度,即每轮次的最低支付款(M_r)下降曲线如图 2。图 3 为招标前候选结点与招标结束后中标结点所形成的设计网络。

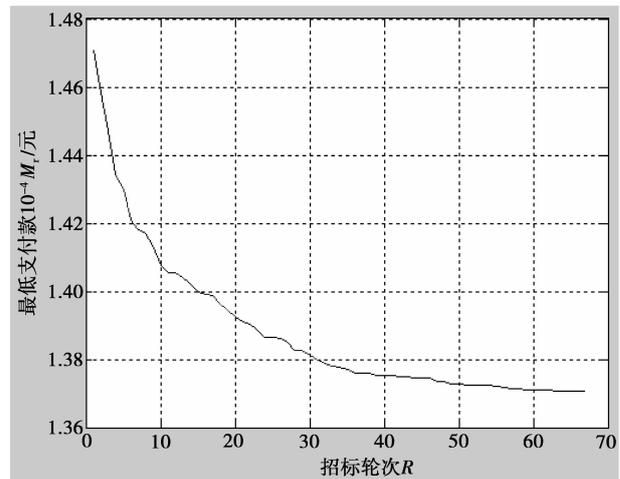


图 2 每轮次最佳个体支付款情况

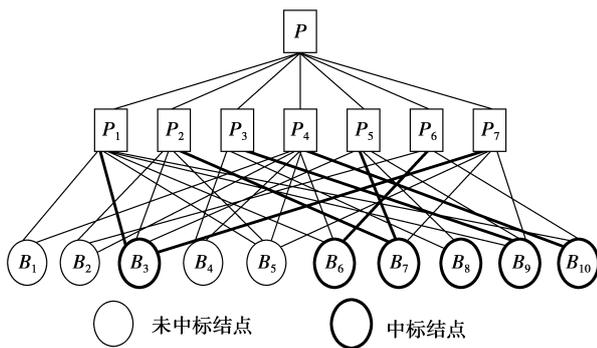


图3 招标结束后所形成的产品设计网络

4 结 语

针对面向社群的协同产品设计网络组建中出现的新问题,笔者提出了一种基于招投标机制的协同产品设计网络招投标组建方法,并从网络组建成本最低的角度,运用遗传算法进行了协同设计伙伴的择优选取。然而,面向社群的广义设计网络的组建还需要考虑候选伙伴的协作经验、合作信用、设计质量等多目标的优化。因此,本方法下一步将在招投标过程中综合考虑其他目标,以便更完善地解决面向社群的协同产品设计网络的组建问题。

参考文献:

- [1] CAMARINHA-MATOS L M, AFSARMANESH H, GALEANO N, et al. Collaborative networked organizations-concepts and practice in manufacturing enterprises[J]. *Computer & Industrial Engineering*, 2009, 57(1):46-60.
- [2] MEJÍA R, LÓPES A, MOLINA A. Experiences in developing collaborative engineering environments: an action research approach[J]. *Computer in Industrial*, 2007, 58(4):329-346.
- [3] LI D, FERREIRA M P. Partner selection for international strategic alliances in emerging economies[J]. *Scandinavian Journal of Management*, 2008, 24(4): 308-319.
- [4] MIKHAILOV L. Fuzzy analytical approach to partnership selection in formation of virtual enterprises [J]. *Omega*, 2002, 30(5):393-401.
- [5] ZHAN J S. A novel partner selection solution based on clonal selection algorithm [C] // *International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, Dec. 19-21, 2008, Taipei, China. [S. l.]: IEEE, 2006: 191-194.
- [6] FENG B, JIANG Z Z, FAN Z P, et al. A method for member selection of cross-functional teams using the individual and collaborative performance[J]. *European Journal of Operation Research*, 2010, 203(3):652-661.
- [7] 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 & Operation Research*, 2003, 30(2): 213-231.
- [8] WU S F, LIU B. A selecting method of virtual enterprise members based on ant algorithm [C] // *Proceedings of International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, August 12-16, 2007, Honolulu, Hawaii, USA. [S. l.]: IEEE, 2007: 4245-4248.
- [9] ZHAO Q, ZHANG X H, XIAO R B. Particle swarm optimization algorithm for partner selection in virtual enterprise [J]. *Progress in Natural Science*, 2008, 18(11): 1445-1452.
- [10] 徐学斌. 基于证据理论和遗传算法的动态联盟伙伴优化选择[J]. *计算机工程与应用*, 2004, 40(16):87-90.
- XU XUE-BIN. Optimization method for selecting partners in dynamic alliance based on evidential theory and genetic algorithms[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2004, 40(16): 1445-1452.
- [11] SCHILLO M, KRAY C, FISCHER K. The eager bidder problem: a fundamental problem of DAI and selected solutions [C] // *Proceedings of the 1st International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, July 15-19, 2002, Bologna, Italy. [S. l.]: ACM, 2002:599-606.
- [12] JAHANSHALOO G R, HOSSEINZADEH L F, IZADIKHAH M. An algorithmic method to extend TOPSIS for decision-making problems with interval data[J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2006, 175(2): 1375-1384.
- [13] QURESHI M N, KUMAR D, KUMAR P. Selection of potential 3PL service providers using TOPSIS with interval data[C] // *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Dec. 2-5, 2007, Singapore. [S. l.]: IEEE, 2007: 233-239.
- [14] HWANG S F, HE R S. A hybrid real-parameter genetic algorithm for function optimization [J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2006, 16(12): 7-21.
- [15] REID D J. Genetic algorithm in constrained optimization [J]. *Mathematical and Computer Modeling*, 1996, 23(5):87-111.

(编辑 张 苹)