

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2014.02.004

业主组织成员选择的权衡模型及求解算法

杨 育, 赵小华, 刘爱军, 李 斐

(重庆大学 机械工程学院, 重庆 400044)

摘 要:为减少候选人能力、机会成本与协同效率等因素给大型工程项目业主组织成员选择决策带来的不确定性与模糊性,引入能力成熟度模型思想,提出一种基于三角模糊数与分级算法的候选人能力成熟度评价方法,解决能力难以定量评价的问题,并在 5 级模糊评价候选人机会成本和协同效率的基础上,建立业主组织成员选择的能力-成本-协同效率的多目标权衡模型,使用遗传模拟退火算法进行求解,为成员选择优化提供方法与决策依据,通过应用案例阐明该方法的应用过程,验证其合理性与有效性。

关键词:遗传算法;模拟退火算法;能力成熟度模型;大型工程项目

中图分类号:TP391

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2014)02-022-09

A member selection model and solving algorithm for project owners

YANG Yu, ZHAO Xiaohua, LIU Aijun, LI Fei

(The State Key Laboratory of Mechanical Transmission,
Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: To reduce the uncertainty and ambiguity in the owners' member selection process of mega-construction project, the influence of candidates' competence, opportunity cost and coordination efficiency is investigated. By introducing the CMM (capability maturity model) concept, a capability maturity evaluation method is presented based on triangular fuzzy numbers and a ranking formula. Then a 5-graded rating method is proposed for the assessment of opportunity cost and coordination efficiency. To find the optimal member selection solution, a competence-cost-coordination efficiency trade-off model is then developed, and SAGA (simulated annealing genetic algorithm) method is proposed to solve it. The model is applied to a mega-construction project and its rationality and effectiveness is verified.

Key words: genetic algorithms; simulated annealing; capability maturity model; mega-construction project

收稿日期:2011-08-03

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71071173);重庆市科技攻关计划资助项目(2010GGB108);2009 年教育部高等学校博士学科点科研基金资助项目(20090191110004);中央高校基本科研业务费资助项目(CDJZR10110012)

作者简介:杨育(1971-),男,重庆大学教授,博士生导师,主要从事客户协同创新,复杂项目管理等方向研究;

赵小华(1981-),男,重庆大学博士研究生,主要从事复杂项目管理方向研究,

(Tel)18081186459;(E-mail)cqzhaoh@163.com。

大型工程项目不仅带来投资量级、建设规模扩大,也将业主控制项目的难度提高到前所未有的高度^[1]。项目业主为了加强项目全过程的成本、进度和质量等目标的控制,往往组建专职团队深度参与项目管理^[2]。业主团队的成员选择是组建业主组织时重要的决策问题,其结果对项目成功有着重要影响^[3-4]。与成熟运用项目管理技术的工程承包商相比,国内大量业主对项目管理认识尚不全面,相关经验欠缺,导致人员能力评价缺少足够的依据和规范的流程支持;同时,由于业主单位专职项目管理人才储备较少,多采用人员抽调的方式,这种对原组织人事结构干扰所产生的机会成本和临时组织的协同效率问题应予以加以考虑。

目前,项目组织成员选择的研究主要面向工程承包商等项目化运作组织,而关于业主组织成员选择的研究较少。已有研究主要针对 2 个方面:一是候选人能力评测与岗位需求匹配^[5-7],二是项目动态工作负荷带来的候选人跨组织调度^[8-10]。其中,能力评测与岗位需求表达所采用的维度、方式各异,没有形成统一的标准,对业主人事变动带来的机会成本约束和成员间的协同效率问题较少涉及。

针对上述业主组织成员选择存在的不足,借鉴能力成熟度模型(capability maturity model, CMM)思想,分级评测面向岗位的候选人能力,引入候选人机会成本和协同效率建立人员选择模型,并应用遗传模拟退火算法进行求解,为业主组织成员选择决策提供支持。

1 大型工程项目业主成员选择的技术框架

CMM 是由软件工程协会(software engineering institute, SEI)发布的旨在评价软件组织过程质量水平的一套集成规范,包括关键过程域、目标、关键实践等三大模块以及配套的成熟度问卷,评价结果分为 5 级^[11],使评价更加科学化、规范化,也有利于被评价组织明确组织提升的努力方向。笔者将该思想应用到候选人能力评测,建立面向岗位的技能分解结构(skill breakdown wstructure, SBS)及单项重要度权重体系,引入专家知识、文献知识等制定能力考核标准问卷,实现候选人相对于岗位的能力成熟

度定量评价。

考虑到能力评价各阶段存在的表述模糊性,引入模糊集理论和三角模糊数,以提高评价结果的准确性与可靠度。模糊集理论被用来处理模糊量词和描述性变量的量化问题。模糊集 A 是在域 X 上的一组有序数对

$$A = \{(x, \mu(x))\}, x \in X,$$

其中, $\mu_A(x)$ 是 x 在 A 上的隶属度, $\mu_A: x \rightarrow [0, 1]$ 叫做隶属度函数。特别的,当 A 为一个正规(normal)模糊凸集合时,可被称为模糊数。模糊数的乘法运算规则定义如下^[12]

$$\begin{aligned} \forall a_1, a_2, b_1, b_2 \in R; \mathbf{F}_a = [a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}], \mathbf{F}_b = \\ [b_1^{(\alpha)}, b_2^{(\alpha)}], \alpha \in [0, 1] \text{ 则} \\ \mathbf{F}_a \otimes \mathbf{F}_b = [a_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)}] \otimes [b_1^{(\alpha)}, b_2^{(\alpha)}] = \\ [a_1^{(\alpha)} \cdot b_1^{(\alpha)}, a_2^{(\alpha)} \cdot b_2^{(\alpha)}], \end{aligned} \quad (1)$$

模糊数常被用来表示语言描述性变量,三角模糊数可以表示为 $\mathbf{F} = (a_1, a_2, a_3)$ 。一种针对 5 级模糊评价的三角模糊数如表 1 所示^[13]。

表 1 5 级模糊评语与三角模糊数的对应关系

级别	模糊评语示例	对应模糊数
1	很重要	(0.75, 1.0, 1.0)
2	重要	(0.5, 0.75, 1.0)
3	一般	(0.25, 0.5, 0.75)
4	不重要	(0, 0.25, 0.5)
5	很不重要	(0, 0, 0.25)

实现大型工程业主组织成员选择的关键是能力成熟度、机会成本和协作效率的权衡。解决该类问题的工具主要有数学分析方法、启发式算法和遗传算法。其中,数学分析方法建模过程复杂,数学计算量大;帕累托算法不能保证该类问题解的最优性,并呈现出问题依赖性^[14],传统遗传算法具有较强的全局优化搜索能力,但在局部寻优及搜索精度上存在不足。鉴于此,笔者将使用遗传模拟退火算法(simulated annealing genetic algorithm, SAGA)寻求问题的最优解,利用模拟退火算法的突跳能力改善遗传算法的上述缺陷。

基于上述工具,技术框架如图 1 所示。

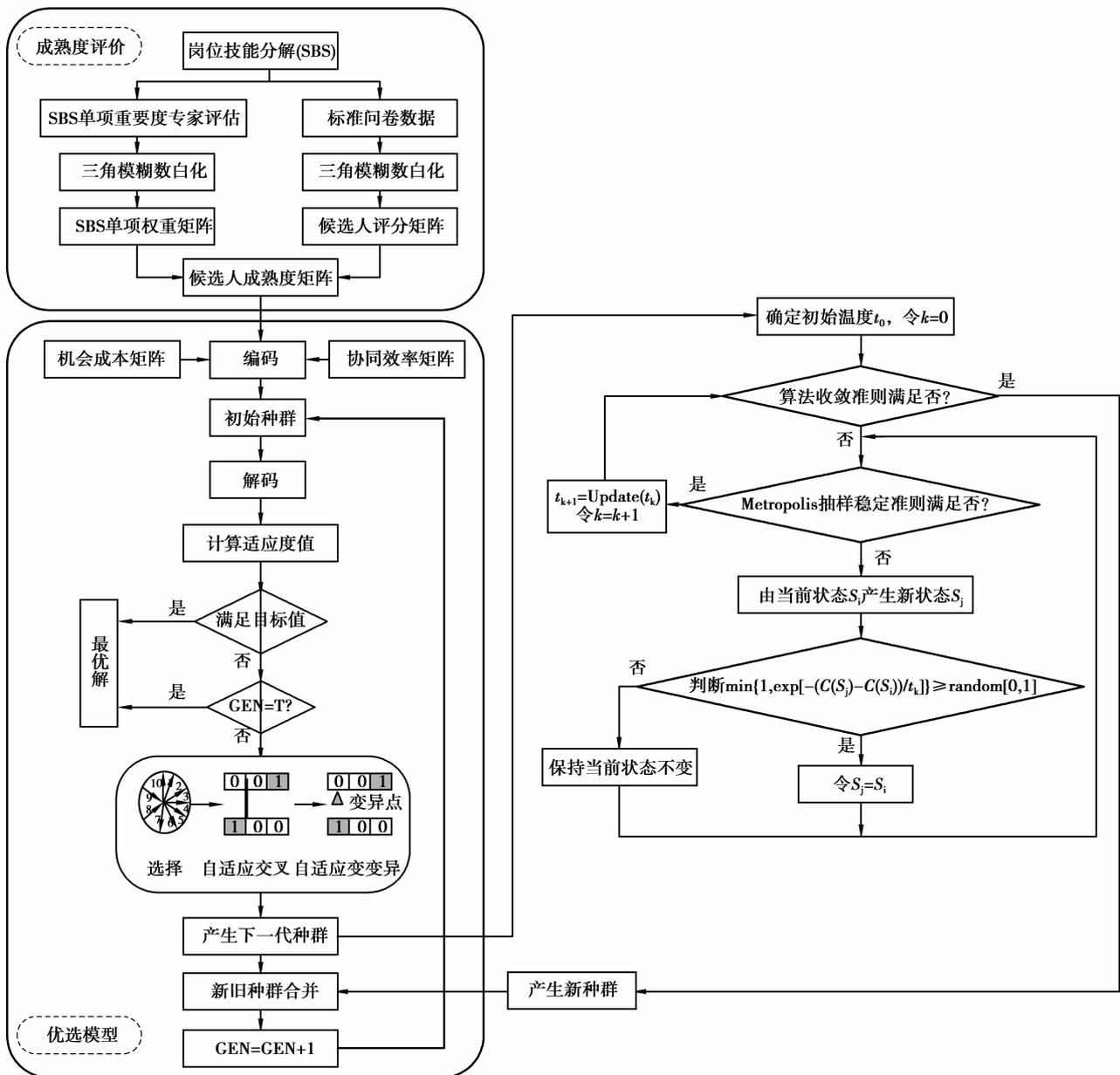


图 1 技术框架示意图

2 基于 CMM 的候选人能力成熟度评级

基于 CMM 候选人能力成熟度评级的基础为 SBS 和配套标准问卷设计,该部分作为独立内容另作研究。候选人能力成熟度评级的步骤简述如下

设某职位 J 的 SBS 分为 m 项,由 n 位专家参与分项权重评价。候选人 T 共 k 名。

1) 专家模糊评价。专家 $E_1, E_2 \dots E_n$ 对 SBS 各单项分别进行重要度评估,重要度区分从“很重要”到“很不重要”划分为 5 级。

2) 计算模糊权重矩阵 W 。将上一步所得评价结果利用表 1 所示的三角模糊数进行白化,可得到各

专家模糊权重矩阵 W

$$W = \begin{matrix} & E_1 & E_2 & \dots & E_n \\ \begin{matrix} J_1 \\ J_2 \\ \vdots \\ J_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix},$$

其中, f_{mn} 是由三元数组表示的模糊数。

由 W 可得各单项平均权重

$$W = \left[\frac{\sum_{i=1}^n f_{1i}}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n f_{2i}}{n}, \dots, \frac{\sum_{i=1}^n f_{mi}}{n} \right]^T.$$

3) 按照类似过程,将问卷数据进行白化后可得

到候选人单项得分矩阵 P

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \cdots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \cdots & P_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{k1} & P_{k2} & \cdots & P_{km} \end{bmatrix}。$$

4) 计算候选人能力成熟度矩阵 M

$$M = W \otimes P。 \quad (2)$$

5) 候选人能力成熟度分级。一个梯形模糊数 \tilde{A}_i 可以定义为 $A_i = (a, b, c, d; L_H, R_H)$ ($b=c$ 时为三角模糊数), 其分级可以由以下公式计算^[15]

$$D_i = \frac{1}{2} \left\{ \alpha [\beta R_H(i) + (1 - \beta) L_H(i)] + (1 - \alpha) [\beta R_S(i) + (1 - \beta) L_S(i)] \right\}, \quad (3)$$

其中: D_i 为第 i 个模糊数的评级指数; α 为专家意见权重; β 为决策者乐观指数; $R_H(i)$ 为第 i 个模糊数的右边高; $L_H(i)$ 为第 i 个模糊数的左边高; $R_S(i)$ 为第 i 个模糊数的右域 ($R_S(\tilde{A}) = c + d$); $L_S(i)$ 为第 i 个模糊数的左域 ($L_S(\tilde{A}) = a + b$)。

3 能力-成本-协同效率权衡模型建立

3.1 候选人机会成本模糊评价

大型工程项目业主一般须组建较大规模的管理团队, 团队成员主要有两个来源, 一是外部招聘, 二是内部抽调。由于项目的暂时性, 外部招聘人员在工程结束后存在难以安置的问题, 而且, 业主自身成员具有更高的工作稳定性和较好的工作经验, 因此, 业主往往优先选择抽调自身成员实现管理团队的搭建。显然, 这种对原组织正常工作秩序的干扰将带来风险, 可能导致原生产单位产生一定的经济损失。因此, 业主在选择成员时, 不仅要考虑能力水平, 还要权衡由此引发的机会成本。对于能力-成本-协同效率权衡模型而言, 只需考虑候选人机会成本的相对大小而非绝对数值, 因此将机会成本综合工作职位重要度、可替代性、人员富余度等多因素进行 5 级模糊划分(如表 2 所示)。

表 2 人员变动机会成本的分级、模糊评语与语义

分值	评语	语义
5	很高	岗位关键, 无富余人员, 可替代小
4	高	岗位重要, 无富余人员, 可替代
3	一般	岗位重要, 有富余人员, 可替代
2	低	一般岗位, 无富余人员, 可替代
1	很低	一般岗位, 有富余人员, 可替代

按照表 2 的评价尺度, 可建立候选人机会成本矩阵 $C = [C_1, C_2, C_3 \dots C_k]$, 其中 $1 \leq C_i \leq 5, 1 \leq i \leq k$ 。

3.2 候选人协同效率评价

项目参与者间的有效协作被认为是项目成功的重要影响因素之一^[16]。跨组织成员因成员间文化背景、工作习惯等差异给内部协作带来更大挑战^[17]。而大型工程项目业主组织成员往往筛选自不同的组织(如不同子公司), 因此在选择组织成员时, 候选人间的协同效率也是重要的决策依据。协同效率本身是一个非常抽象且难以被量化的概念, 目前研究协同效率大多数是定性评价^[18]。根据协同效果的好坏, 笔者将使用候选人机会成本评价中使用的 5 级模糊评分衡量候选人两两之间的协同效率, 建立候选人协同效率矩阵

$$\begin{matrix} & T_1 & T_2 & \cdots & T_j \\ \begin{matrix} T_1 \\ T_2 \\ \vdots \\ T_k \end{matrix} & \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1j} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2j} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ e_{k1} & e_{k2} & \cdots & e_{kj} \end{bmatrix} & & & \end{matrix},$$

其中 e_{ij} 表示第 i 与第 j 名候选人间的协同效率, $e_{ij} = e_{ji}, 1 \leq e_{ij} \leq 5, 1 \leq i, j \leq k$, 且候选人自身协同效率值定义为 0, 即 $i=j$ 时 $e_{ij} = 0$ 。

3.3 能力-成本-协同效率权衡模型建立

业主在管理大型工程项目时, 通常情况一个岗位需要若干人员, 因此需要根据人员的能力成熟度、由于人员抽调造成的机会成本, 以及不同人员一起工作的协作适应度来选择合适的团队成员。进行人员选择时存在以下难点: 首先, 一个岗位需要多个适合的候选人协作完成, 而每个候选人与该职位的匹配度是有差异的; 其次, 项目执行过程中, 需要各参与者交流与共享工作信息, 协同效率将对工作成效起着关键的作用; 再次, 每个人员的抽调对公司整体利益来说都是一种隐形损失, 产生机会成本, 而每个人的损失成本又不相同。因此, 采用相关矩阵的方法来建立业主人员选择的的能力-成本-协同效率模型, 使得候选人员能力成熟度最大, 并且协同效果最好, 成本最低。假定某工程项目某岗位需要 J_1, J_2, \dots, J_m 等共 m 个人, 共有 T_1, T_2, \dots, T_k 等 k 名候选人, 用 T_{kJ_m} 表示需要的第 m 人员选中候选人中的第 k 名, M_k 为第 k 名候选人对职位的能力成熟度评级, 用 C_k 表示第 k

名候选人的机会成本。

要使得能力成熟度最大,建立如下模型

$$F_1 = \max_{T_1 J_1, T_2 J_2, \dots, T_k J_m} \left(\sum_{i=1}^k f_{km} M_k \right), \text{st. } M_k \neq 0. \quad (4)$$

要使得项目完成人员总成本最低,建立如下模型

$$F_2 = \max_{T_1 J_1, T_2 J_2, \dots, T_k J_m} \left(\sum_{i=1}^k f_{km} C_k \right), \text{st. } C_k \neq 0. \quad (5)$$

要使得人员协同效果最好,建立如下模型

$$F_3 = \max_{T_1 J_1, T_2 J_2, \dots, T_k J_m} \left(\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k d_{ij}^{T_i T_j} \right), \text{st. } d_{ij}^{T_i T_j} \neq 0. \quad (6)$$

要使得总体目标最大,建立如下模型

$$F = \alpha F_1 + \beta / F_2 + \lambda F_3 = \max_{T_1 J_1, T_2 J_2, \dots, T_k J_m} \left(\alpha * \left(\sum_{i=1}^k f_{km} M_k \right) + \beta / \left(\sum_{i=1}^k f_{km} C_k \right) + \lambda * \left(\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k d_{ij}^{T_i T_j} \right) \right). \quad (7)$$

其中, α 、 β 和 λ 为目标权重系数,其取值依据协同环境以及工作特征,根据协同设计任务的特点取值 $\alpha + \beta + \lambda = 1$ 。 f_{km} 为决策变量,其定义为

$$f_{km} = \begin{cases} 1, & \text{人员 } k \text{ 被选中;} \\ 0, & \text{人员 } k \text{ 没被选中。} \end{cases}$$

4 算法设计

4.1 算法实现流程

遗传模拟退火算法的实现流程设计如下

步骤 1 初始化种群。设置进化代数计数器 $t = 1$, 设置最大进化代数 G ; 随机产生含 M 个个体的初始种群 $P_0(t)$, 同时求出各个体的适应度 $F_i (i = 1, 2, \dots, M)$ 。

步骤 2 对种群 $P_0(t)$ 中的个体按其适应度大小降序排列, 记录前 N 个个体 ($N < M$) 为较好群体 $P_1(t)$, 以免部分适应度高的个体在遗传操作中被淘汰掉。

步骤 3 采用遗传算法进行选择、交叉、变异等操作, 生成群体 $P_2(t)$ 。

1) 对种群 $P_0(t)$ 进行预选择操作, 得种群 $Pop_1(t)$, 选择操作时, 采用轮盘赌的方法, 轮盘赌选择又称比例选择算子, 它的基本思想是: 各个个体被选中的概率与其适应度函数值大小成正比。设群体大小为 n , 个体 i 的适应度为 F_i , 则个体 i 被选中遗

传到下一代群体的概率为

$$P_i = F_i / \sum_{i=1}^n F_i. \quad (8)$$

2) 自适应交叉操作。采用单点交叉算子对种群 $Pop_1(t)$ 进行交叉操作, 得种群 $Pop_2(t)$, 交叉概率为

$$P_c = \begin{cases} k_1(N - f_{\text{avg}}) / (N - f'), & f' < f_{\text{avg}}; \\ k_3, & f' \geq f_{\text{avg}}. \end{cases} \quad (9)$$

3) 自适应变异操作。采用自适应的变异概率对种群 $Pop_2(t)$ 进行变异操作, 得到种群 $P_2(t)$, 变异概率为

$$P_m = \begin{cases} k_2(N - f_{\text{avg}}) / (N - f'), & f' < f_{\text{avg}}; \\ k_4, & f' \geq f_{\text{avg}}, \end{cases} \quad (10)$$

其中: P_c 表示子群体的交叉率; P_m 表示子群体中个体的变异率; N 表示种群规模; f_{avg} 表示种群平均适应度值; f' 表示子种群的平均适应度值, f 表示要变异的个体适应度值; k_1, k_2, k_3, k_4 是在 $0 \sim 1$ 之间取值的常数, k_3 和 k_4 较大。

步骤 4 以 $P_2(t)$ 为初始种群, 对其中各个体进行模拟退火运算, 从邻域 $N(x_i)$ 中随机选一邻居 x_j , 计算 $\Delta f_{ij} = f(x_i) - f(x_j)$, 若 $\Delta f_{ij} \leq 0$, 则 $x_i = x_j$, 否则若 $\exp(-\Delta f_{ij}/t_k) > \text{random}(0, 1)$, (表示一个 0 到 1 之间的均匀随机数), 则 $x_j = x_i$, 得到新的规模为 M 的群体 $P_3(t)$;

步骤 5 将 $P_1(t)$ 、 $P_2(t)$ 、 $P_3(t)$ 合并构成一个规模为 $N + M \times 2$ 的新群体 $P_4(t)$, 对 $P_4(t)$ 进行评价, 取出其中较好的前 M 个个体构成 $P_0(t)$, 降低退火温度 $t_{k+1} = d(t_k)$ (表示温度下降的函数), 转步骤 2, 循环执行。

步骤 6 判断是否满足收敛条件, 如不满足终止条件, 则更新进化代数计数器, 即 $t = t + 1$, 转至步骤 5; 若满足终止条件, 则终止运算, 输出计算结果。

基因为参与选择人员的一个组合, 它由 k 个人组成, 共需要选择其中的 m 个人。人员的选中与否采用 0 和 1 编码的方式来识别, 0 表示该候选人没有被选中, 1 表示成功选中。实现 m 个人员的选择优化问题反映在基因编码上就是在长度为 k 的染色体上, 需要保证在 m 个位置上染色体为 1。

4.2 算法交叉变异操作

交叉运算。是指对 2 个相互配对的染色体依据

交叉概率 P_c 。按某种方式相互交换其部分基因,从而形成 2 个新的个体。由于研究的特点,选取单亲交叉方法,从而根据相应的交叉过程得到 2 个交叉后代分别作为交叉后得到的父、母子代。这种交叉方法中,仅有一个父代个体参与交叉,通过交叉过程的

产生的子代个体也是一个。具体的交叉过程是:对于交叉父代 X ,随机选取一个交叉点,互换交叉点前后的基因得到新的交叉后代 X' 。按照上述交叉方法可得到群体规模为 Popsizes 的 2 个交叉后代群体,整个过程可以用图 2 表示。



图 2 单点交叉操作

变异运算。所谓变异运算,是指依据变异概率 P_m 将个体编码串中的某些基因值用其他基因值来替换,从而形成一个新的个体。遗传算法中的变异运算是产生新个体的辅助方法,它决定了遗传算法

的局部搜索能力,同时保持种群的多样性。交叉运算和变异运算相互配合,共同完成对搜索空间的全局搜索和局部搜索。结合研究问题的特点,采用移位变异操作,整个过程可以用图 3 表示。

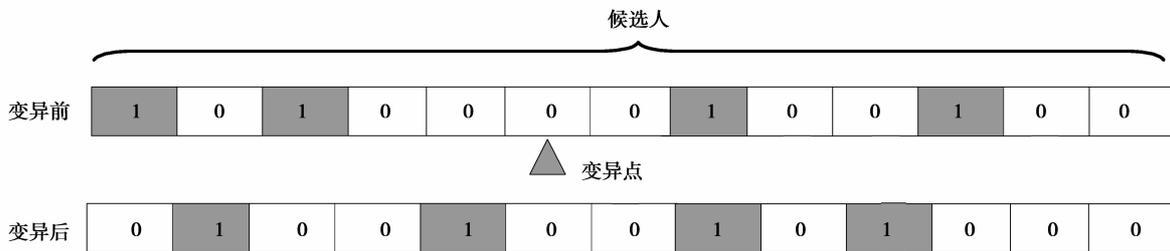


图 3 移位变异操作

通过快速高效的单点交叉和移位变异操作,即保证每个解的可行性,同时提高运算速度。

5 算例分析

M 项目为在建大型化工一体化项目。其中工程施工由专业承包公司完成,为加强过程控制,业主成立独立组织行使监督职能。现以质量工程师的选择过程为例说明模型的应用过程。该岗位候选人共 20 名,需要选取其中的 7 名分配到项目中。

5.1 候选人能力成熟度评级

基于国际项目管理组织(project management

institute, PMI) 和项目经理协会 (association of project managers, APM) 推荐的规范^[19-20],结合专家建议制定质量工程师岗位的 SBS,并由 2 名专家(E_1 和 E_2)对 SBS 中各单项的重要度进行评估,由问卷数据获得个候选人针对各单项的评价值。SBS 单项重要度的模糊评语为:很重要(VG)、重要(G)、一般(N)、不重要(B)、很不重要(VB)。候选人单项评价的模糊评语为:很好(VG)、好(G)、一般(N)、差(B)、很差(VB)。该岗位单项重要度和候选人单项评价数据如表 3 所示。

表 3 质量工程师岗位 SBS 单项重要度和候选人单项评价数据表

分类	序号	装置知识	实践经验	法律法规	文档管理	沟通能力	风险预测
重要度	E ₁	G	VG	G	N	VG	G
	E ₂	VG	VG	G	B	VB	G
候选人单项评价	T ₁	VG	G	N	G	N	G
	T ₂	VG	G	B	G	N	G
	T ₃	N	VG	G	G	VG	G
	T ₄	B	N	G	N	B	N
	T ₅	G	N	G	N	G	N
	T ₆	G	G	N	N	N	G
	T ₇	G	VG	B	G	VG	VG
	T ₈	VG	B	VG	B	G	N
	T ₉	VB	N	VG	G	N	VB
	T ₁₀	B	N	B	VG	G	B
	T ₁₁	N	G	VG	N	VG	N
	T ₁₂	G	B	N	N	VG	N
	T ₁₃	G	N	G	VG	G	N
	T ₁₄	N	G	N	VG	G	G
	T ₁₅	B	G	VG	G	N	N
	T ₁₆	VG	N	G	B	VG	G
	T ₁₇	N	B	G	VG	B	B
	T ₁₈	VB	B	VG	N	N	VB
	T ₁₉	G	VG	VG	G	VG	VG
	T ₂₀	N	B	VG	B	G	B

根据表 1 中所列模糊评语与模糊数的对应关系,可求得质量工程师岗位的 SBS 单项重要度模糊数均值矩阵

$$W = \begin{bmatrix} 0.625 & 0.875 & 1.000 \\ 0.750 & 1.000 & 1.000 \\ 0.500 & 0.750 & 1.000 \\ 0.125 & 0.375 & 0.625 \\ 0.375 & 0.500 & 0.625 \\ 0.500 & 0.750 & 1.000 \end{bmatrix}$$

同理,可将候选人单项模糊评语转化模糊数矩阵 P,由 M=W⊗P 求得用模糊数表示的候选人单项分,进而按模糊数分级公式(2)将模糊区间进行转化,最后输出的是一个代表 20 位候选人相对于质量工程师岗位的能力成熟度分级矩阵

$$M' = \begin{pmatrix} 3.13 & 2.92 & 3.34 & 2.06 & 2.76 & 2.87 \\ 3.29 & 2.70 & 1.96 & 1.91 & 3.00 & 2.41 & 2.95 \\ 2.97 & 2.68 & 3.08 & 2.03 & 1.61 & 3.83 & 2.13 \end{pmatrix}$$

5.2 成本矩阵

按照表 2 制定的评价标准对 20 名候选人的因岗位变动带来的机会成本进行评估,得到机会成本矩阵

$$C = \begin{pmatrix} 5 & 4 & 4 & 2 & 5 & 1 & 4 & 3 & 4 & 2 \\ 4 & 2 & 2 & 1 & 3 & 3 & 5 & 2 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

5.3 协同效率矩阵

对候选人两两之间的协同效率进行 5 级评价,得到协同效率矩阵

$$\begin{pmatrix} 0 & 2 & 4 & 3 & 5 & 5 & 3 & 1 & 2 & 4 & 4 & 3 & 2 & 2 & 5 & 3 & 3 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 0 & 3 & 3 & 2 & 1 & 1 & 4 & 4 & 3 & 3 & 5 & 2 & 3 & 3 & 2 & 4 & 5 & 3 & 3 \\ 4 & 3 & 0 & 3 & 5 & 5 & 4 & 2 & 1 & 4 & 3 & 5 & 4 & 3 & 5 & 1 & 2 & 4 & 3 & 3 \\ 3 & 3 & 3 & 0 & 4 & 2 & 3 & 5 & 1 & 4 & 4 & 2 & 2 & 3 & 1 & 4 & 5 & 5 & 4 & 2 \\ 5 & 2 & 5 & 4 & 0 & 3 & 3 & 3 & 2 & 2 & 4 & 4 & 3 & 4 & 3 & 3 & 4 & 2 & 2 & 5 \\ 5 & 1 & 5 & 2 & 3 & 0 & 5 & 5 & 4 & 3 & 2 & 3 & 4 & 1 & 3 & 5 & 4 & 5 & 3 & 1 \\ 3 & 1 & 4 & 3 & 3 & 5 & 0 & 2 & 4 & 3 & 5 & 1 & 5 & 3 & 3 & 3 & 3 & 5 & 2 & 4 \\ 1 & 4 & 2 & 5 & 3 & 5 & 2 & 0 & 5 & 2 & 1 & 4 & 3 & 2 & 2 & 4 & 5 & 3 & 5 & 4 \\ 2 & 4 & 1 & 1 & 2 & 4 & 4 & 5 & 0 & 4 & 4 & 3 & 2 & 2 & 4 & 5 & 4 & 1 & 3 & 3 \\ 4 & 3 & 4 & 4 & 2 & 3 & 3 & 2 & 4 & 0 & 3 & 4 & 3 & 5 & 4 & 2 & 4 & 5 & 1 & 4 \\ 4 & 3 & 3 & 4 & 4 & 2 & 5 & 1 & 4 & 3 & 0 & 5 & 4 & 3 & 5 & 2 & 4 & 1 & 3 & 2 \\ 3 & 5 & 5 & 2 & 4 & 3 & 1 & 4 & 3 & 4 & 5 & 0 & 5 & 5 & 4 & 3 & 5 & 5 & 4 & 4 \\ 2 & 2 & 4 & 2 & 3 & 4 & 5 & 3 & 2 & 3 & 4 & 5 & 0 & 3 & 3 & 4 & 5 & 3 & 5 & 4 \\ 2 & 3 & 3 & 3 & 4 & 1 & 3 & 2 & 2 & 5 & 3 & 5 & 3 & 0 & 2 & 2 & 3 & 3 & 5 & 3 \\ 5 & 3 & 5 & 1 & 3 & 3 & 3 & 2 & 4 & 4 & 5 & 4 & 3 & 2 & 0 & 5 & 5 & 4 & 4 & 3 \\ 3 & 2 & 1 & 4 & 3 & 5 & 3 & 4 & 5 & 2 & 2 & 3 & 4 & 2 & 5 & 0 & 3 & 5 & 1 & 1 \\ 3 & 4 & 2 & 5 & 4 & 4 & 3 & 5 & 4 & 4 & 4 & 5 & 5 & 3 & 5 & 3 & 0 & 4 & 3 & 5 \\ 2 & 5 & 4 & 5 & 2 & 5 & 5 & 3 & 1 & 5 & 1 & 5 & 3 & 3 & 4 & 5 & 4 & 0 & 5 & 3 \\ 1 & 3 & 3 & 4 & 2 & 3 & 2 & 5 & 3 & 1 & 3 & 4 & 5 & 5 & 4 & 1 & 3 & 5 & 0 & 4 \\ 2 & 3 & 3 & 2 & 5 & 1 & 4 & 4 & 3 & 4 & 2 & 4 & 4 & 3 & 3 & 1 & 4 & 3 & 4 & 0 \end{pmatrix}$$

5.4 最优值求解

使用 Matlab 应用遗传模拟退火算法对模型进行求解,其中种群规模 $\text{Popsiz}e = 30$;交叉率计算参数 $k_1 = 0.9, k_3 = 0.6$,变异率计算参数 $k_2 = 0.1, k_4 = 0.001$;目标系数 $\alpha = 0.5, \beta = 0.3, \lambda = 0.2$;迭代次数 $G_{\max} = 500$;减参数为 0.95,迭代初始温度为 500。计算得到最优个体适应度值和平均适应度值分别如图 4、图 5 所示。

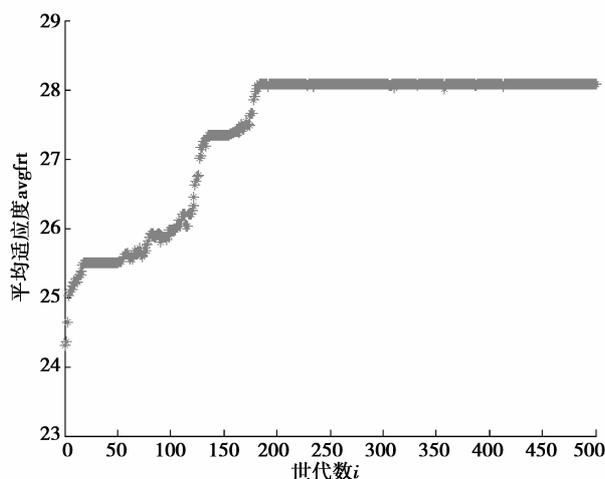


图 4 最优个体适应度值

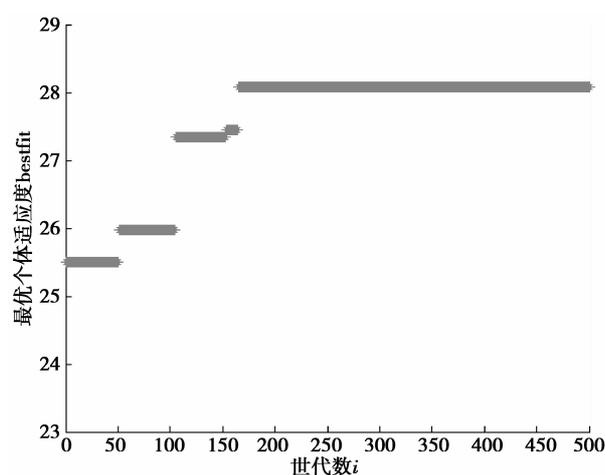


图 5 平均适应度值

计算所得最优值为 28.08,最优解为(1 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0),数字 1 代表对应的候选人被选中。从图 4 和图 5 也可看出,在运行到 200 代时已达到最优解,表明 SAGA 在求解该模型时具有较好的收敛速度。

6 结 论

针对大型工程项目业主成员选择决策中的不确定性和模糊性问题,建立了能力-成本-协同效率权衡模型,并使用遗传模拟退火算法求解,得到以下结论

1)提出了面向岗位的基于 CMM 的能力成熟度评价新方法,通过流程、标准的规范化和模糊集理论的应用,实现了的模糊信息白化和能力的定量评价,并结合候选人机会成本和协同效率构两大因素构建了成员选择权衡模型。该模型很好地体现大型工程项目业主成员选择的实际特点,模型计算结果可提高决策的合理性与准确性。

2)在求解算法的设计方面,采用基因编码方法产生人员配置的初始种群,保证每个染色体的可行性,通过模拟退火操作和遗传算法的选择、交叉、变异等操作对整个群体进行优化。自适应参数的引入实现了交叉和变异概率动态调整,既克服了不成熟的收敛,又避免优秀染色体被破坏。

3)在算法性能方面,以一个大型化工项目岗位人员选择为例初始化模型,采用遗传模拟退火算法进行求解,通过对最优个体适应度值和平均适应度值分析发现,该算法体现出良好的收敛性能和全局寻优能力。

笔者对机会成本和协同效率采用了定性的模糊评价,存在主观性较大的问题,下一步将针对二者的定量分析做进一步研究。

参考文献:

- [1] Aritua B, Smith N J, Bower D. Construction client multi-projects - A complex adaptive systems perspective [J]. International Journal of Project Management, 2009,27(1):72-79.
- [2] Pinto J K, Slevin D P, English B. Trust in projects: An empirical assessment of owner/contractor relationships [J]. International Journal of Project Management, 2009,27(6):638-648.
- [3] Feng B, Jiang Z Z, Fan Z P, et al. A method for member selection of cross-functional teams using the individual and collaborative performances[J]. European Journal of Operational Research, 2010,203(3):652-661.
- [4] D'souza G C, Colarelli S M. Team member selection decisions for virtual versus face-to-face teams [J]. Computers in Human Behavior, 2010,26(4):630-635.
- [5] Strnad D, Guid N. A fuzzy-genetic decision support system for project team formation[J]. Applied Soft Computing, 2010,10(4):1178-1187.

- [6] Wi H, Mun J, OH S, et al. Modeling and analysis of project team formation factors in a project-oriented virtual organization (ProVO)[J]. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(3, Part 2): 5775-5783.
- [7] Agust N, Blas L E, Salcedo Sanz S, et al. Team formation based on group technology: A hybrid grouping genetic algorithm approach[J]. *Computers & Operations Research*, 2011, 38(2): 484-495.
- [8] Raiden A B, Dainy A R J, Neale R H. Current barriers and possible solutions to effective project team formation and deployment within a large construction organisation [J]. *International Journal of Project Management*, 2004, 22(4): 309-316.
- [9] Aadr M, Baldoqu N M G, Acu A S T. Formal model for assigning human resources to teams in software projects [J]. *Information and Software Technology*, 2011, 53(3): 259-275.
- [10] Slomp J, Suresh N C. The shift team formation problem in multi-shift manufacturing operations [J]. *European Journal of Operational Research*, 2005, 165 (3): 708-728.
- [11] Subramanian G H, Jiang J J, Klein G. Software quality and IS project performance improvements from software development process maturity and IS implementation strategies [J]. *Journal of Systems and Software*, 2007, 80(4): 616-627.
- [12] Zimmernann H J. *Fuzzy set theory and its applications* [M]. 2nd ed. London: Kluwer Academic Publisher, 1991.
- [13] Zeng W, Li H. Weighted triangular approximation of fuzzy numbers [J]. *International Journal of Approximate Reasoning*, 2007, 46(1): 137-150.
- [14] Chen P H, Weng H. A two-phase GA model for resource-constrained project scheduling [J]. *Automation in Construction*, 2009, 18(4): 485-498.
- [15] Chang J R, Cheng C H, Kuo C Y. Conceptual procedure for ranking fuzzy numbers based on adaptive two-dimensions dominance [J]. *Soft Computing*, 2005, 10(2): 94-103.
- [16] Jha K N, Iyer K C. Critical determinants of project coordination [J]. *International Journal of Project Management*, 2006, 24(4): 314-322.
- [17] Kotlarsky J, Van Fenema P C, Willcocks L P. Developing a knowledge-based perspective on coordination: The case of global software projects [J]. *Information & Management*, 2008, 45(2): 96-108.
- [18] Hossain L. Effect of organisational position and network centrality on project coordination [J]. *International Journal of Project Management*, 2009, 27(7): 680-689.
- [19] PMI. *A guide to the project management body of knowledge*, fourth ed [M]. Upper Darby PA: Project Management Institute, 2008.
- [20] APM. *APM Body of Knowledge*, 5th ed [M]. High Wycomb: Association for Project Management, 2006.

(编辑 侯 湘)