

文章编号: 1001-0920(2011)03-0369-07

重大工程论证专家选择及其自适应遗传算法

卢广彦, 杨善林, 朱克毓

(合肥工业大学 计算机网络系统研究所, 合肥 230009)

摘要: 论证专家选择是重大工程可行性论证时的一个复杂决策问题. 对此, 根据论证专家团队需求构建了论证专家选择模型, 并设计了自适应遗传算法进行求解. 数值算例验证了所提出的模型和算法的有效性和可行性, 可为决策者提供不同准则下的论证专家的最优组合方案. 最后对算法进行了分析, 给出了解决这类问题的算法控制参数的合理组合范围.

关键词: 重大工程论证; 论证专家选择; 自适应遗传算法; 控制参数

中图分类号: C934

文献标识码: A

Selection of demonstration experts for momentous project based on adaptive genetic algorithm

LU Guang-yan, YANG Shan-lin, ZHU Ke-yu

(Institute of Computer Network Systems, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China. Correspondent: LU Guang-yan, E-mail: lu_guangyan@163.com)

Abstract: The optimization grouping of demonstration experts is one of complex decision-making problems before making feasibility study for momentous project. Therefore, according to the requirements on group of demonstration experts, this paper proposes a mathematical model for selecting demonstration experts for the momentous project and develops an adaptive genetic algorithm to solve it. A numerical example is examined to show that the constructed model and the developed algorithm are validity and applicability to solve the problem. Other six alternatives on different criteria for this problem are presented to decision maker. Finally, on the basis of analysis on property of the developed algorithm, a reasonable rang of control parameters of the algorithm is given to solve such problem.

Key words: momentous project demonstration; selection of demonstration experts; adaptive genetic algorithm; control parameter

1 引言

重大工程投资规模巨大、技术复杂、建设周期长、面临的问题复杂, 其决策的正确与否将对一个国家或地区的经济社会发展、生态环境甚至政治军事产生深远影响^[1]. 重大工程按其解决问题的领域和目的可分为民用重大工程、军用重大工程和科技重大工程. 在重大工程进行充分论证科学决策之前, 如何从专家数据库中遴选论证专家, 构建一个具有怎样的知识经验结构和群体特质的论证专家团队, 是一项十分重要的工作. 这不仅决定着重大工程论证的进程和论证的结果, 甚至会对重大工程的最终决策与组织实施产生重要的影响.

重大工程论证专家选择是一个复杂的多层级多

阶段的决策过程, 一般需经有关人员(部门)推荐、初步筛选、多轮评审和正式批准等阶段, 在不同的层级, 候选专家评价准则是不相同的. 当论证专家评选进入最高层级时, 需要考虑的不仅仅是候选专家自身所具有的知识、经验、素养等因素, 更重要的是从重大工程论证的需要出发, 考虑所构建的论证专家团队应具有什么样的属性和特征, 构建怎样的数学模型, 将定性定量相结合, 最终从专家数据库中科学合理地选择出公认度高的论证专家团队. 目前, 有关这方面的研究文献并不多.

对于一般企业项目团队的构建, 已有国内外学者进行了研究. Wi 等人^[2]基于知识和合作提出了模糊分析框架以对项目团队经理和成员的知识进行定量评

收稿日期: 2009-12-17; 修回日期: 2010-04-27.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70631003, 90718037, 70801024); 教育部博士点基金项目(200803590007).

作者简介: 卢广彦(1977-), 男, 博士生, 从事决策科学与技术、物流与供应链管理的研究; 杨善林(1948-), 男, 教授, 博士生导师, 从事决策科学与技术、人工智能等研究.

价,并设计了遗传算法和社会网络方法来选择项目经理和项目成员;Shin等人^[3]针对人力资源的招募和筛选问题提出了两阶段决策流程,通过提高群体一致性对企业员工的招募和筛选提供决策支持;Bhadury等人^[4]采用网络流的方法来提高项目团队成员的多样性;Wi等人^[5]提出了包含知识竞争和合作竞争的虚拟研发组织项目团队构建模型;Chien等人^[6]提出了员工选择数据挖掘框架模型来开发员工个性特征与工作行为之间的关联规则,以提高企业人力资本质量,改进企业业绩;Shipley等人^[7]则采用模糊逻辑方法研究了项目成员选择问题,以优化项目团队的集体认知风格,提高团队的业绩.然而,这些研究均是以营利为目的的企业或组织为对象构建项目团队,对于问题复杂、影响面广、具有公共利益性质的重大工程的论证专家选择问题则不适用.文献[8]对论证专家的学术理论、工程经验、责任感等方面的素养提出了要求,但没有提出具体的专家选择模型.

本文根据重大工程论证的特征,以论证专家群体最优化为目标,构建了论证专家选择数学模型,并将论证专家选择由定性评价转化为定量的多目标组合优化问题.论证专家选择是一类复杂的决策问题,随着候选人数的增加,解空间急剧增大,作为一种进化算法,遗传算法是求解这类问题的有效工具^[9-12].因此,本文设计了自适应遗传算法进行求解,最后给出的数值算例验证了模型和算法的有效性和可行性.

2 问题描述与数学模型

重大工程涉及问题复杂,在进行论证时需依据一定的规则将问题分解为 n 个专题,每个专题又可分为 n_i 个任务单元,每个任务单元由一个或多个专家完成.重大工程论证专家选择就是从专家数据库中为重大工程的 n 个专题分派专家进行可行性论证.为便于构建模型,首先给出如下假定:

- 1) 每位被选择的专家仅参与其中一项专题;
- 2) 每个任务单元仅由一个专家完成;
- 3) 参与同一个专题的不同专家对该专题中的每个任务单元均能完成;

- 4) 合格候选专家的总人数已确定.

模型中所用的符号如下:

y_i : 重大工程的第 i 项专题, $i = 1, 2, \dots, n$;

e_{ij} : 参与专题 y_i 论证的候选专家 j ;

m_i : 参与专题 y_i 论证的候选专家人数,有 $1 \leq m_i' \leq m_i$;

m_i' : 选定参与专题 y_i 论证的专家人数,有 $m_i' = n_i$;

$k_{e_{ij}}$: 候选专家 e_{ij} 具有的领域知识;

$e_{e_{ij}}$: 候选专家 e_{ij} 具有的工程经验;

$q_{e_{ij}}$: 候选专家 e_{ij} 具有的个人素养;

$i_{e_{ij}}$: 候选专家 e_{ij} 具有的创新能力;

$t_{e_{ij}}$: 候选专家 e_{ij} 具有的团队精神;

$r_{e_{ij}}$: 候选专家 e_{ij} 具有的风险偏好;

s : 评价属性的理想标度;

K : 组建的专家团队所具有的领域知识;

E : 组建的专家团队所具有的工程经验;

Q : 组建的专家团队所具有的综合素养;

I : 组建的专家团队所具有的创新能力;

T : 组建的专家团队所具有的团队精神;

R : 组建的专家团队所具有的风险偏好;

S : 组建的专家团队单个属性的总理想标度.

设 $Y = \{y_i | i \in [1, n]\}$ 表示重大工程所有 n 项专题的集合, $E_i = \{e_{ij} | j \in [1, m_i]\}$ 表示有资历参与专题 y_i 论证的候选专家集合, $P_{e_{ij}} = \{k_{e_{ij}}, e_{e_{ij}}, q_{e_{ij}}, i_{e_{ij}}, t_{e_{ij}}, r_{e_{ij}}, \dots\}$ 表示评价候选专家 e_{ij} 的属性集合,根据需要还可以扩展该集合.重大工程论证专家选择的优化目标是组建论证专家团队 $G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$, 使得 $\max K, \max E, \max Q, \max I, \max T, \min R$.

这是一个多目标优化问题.任何一位候选专家很难在所有属性上都能得到最优解,且目标之间存在着矛盾性,因此可采用下式将该多目标优化问题转化为单目标优化问题:

$$\max Z = W_1 K + W_2 E + W_3 Q + W_4 I + W_5 T + W_6 (S - R). \quad (1)$$

其中: W_k 为属性权重,可采用专家评分、层次分析(AHP)等方法确定,且满足

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^6 W_k &= 1; \\ K &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} k_{e_{ij}} u_{ij}, \quad E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} e_{e_{ij}} u_{ij}, \\ Q &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} q_{e_{ij}} u_{ij}, \quad I = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} i_{e_{ij}} u_{ij}, \\ T &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} t_{e_{ij}} u_{ij}, \quad R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} r_{e_{ij}} u_{ij}, \\ S &= s \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} u_{ij}. \end{aligned} \quad (2)$$

其中: $u_{ij} = 1$ 表示专家 e_{ij} 参与工程论证,否则 $u_{ij} = 0$.

3 自适应遗传算法设计

重大工程论证专家选择问题是重大工程的 n 项专题在 $m = \sum_{i=1}^n m_i$ 个候选专家中寻找一个最优的专家群体 $G^* = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$. 假设每项专题由 m_i' 个

专家共同完成, 则其解空间大小, 即存在解的数量为

$$\Psi = \prod_{i=1}^n \begin{bmatrix} m \\ m'_i \end{bmatrix}. \quad (3)$$

该问题属于一种组合优化问题, 可采用不同的优化策略进行最优解的搜索^[13-16], 但随着候选专家人数的增加, 解空间急剧扩大. 作为一种智能搜索算法, 遗传算法是解决这类问题的有效工具, 因此, 本文提出一种自适应遗传算法进行求解.

3.1 染色体编码

根据遗传算法, 每条染色体(长度为 L 的 0 和 1 字符串, 如图 1 所示)表示一种专家组合方案. $u_{ij} = 1$ 表示专题 y_i 的第 j 个候选专家被选中参与重大工程论证, $u_{ij} = 0$ 表示未被选中. 这样, 重大工程论证专家选择优化问题便转换为利用遗传算法求解最优解问题, 即求最优染色体编码.

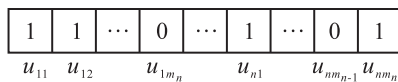


图 1 染色体编码

3.2 联赛与精英混合选择算子

为了动态控制群体选择压力, 在该问题中采用联赛选择算子. 联赛选择是从当前群体中随机选择一定数量的个体(回放式选择), 将其中适应值最大的个体保存到下一代. 反复执行该操作, 直到下一代个体数量达到预定的群体规模. 联赛规模用 q 表示, 称为 q -联赛选择. 在操作过程中, 通过调节控制参数 q , 使得 GA 能够克服模式欺骗性或者避免限于局部最优^[17].

由于选择操作的随机性, 无法确保当代群体中最优个体能够被选择进入下一代. 因此, 采取精英选择与联赛选择相结合的策略, 即在进行选择操作时, 如果下一代群体中的最优个体适应值小于当代群体最优个体的适应值, 则将当代群体最优个体直接复制到下一代, 替代下一代群体最差个体, 其余个体则采取联赛策略进行选择操作.

3.3 自适应交叉和变异概率

一般遗传算法中, 通常对所有个体的交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 选定一固定值, 在遗传迭代过程中保持不变. 这种方法对于复杂问题, 难以获得空间上的最优解. 本文采用一种交叉和变异概率的自适应调整规则, 即每个个体根据种群的不同环境状况, 自行调节交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 值的大小. 自适应交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 分别表示为^[18-20]

$$P_c = \begin{cases} p_{c1} - \frac{(p_{c1} - p_{c2})(f' - \bar{f})}{f_{\max} - \bar{f}}, & f' \geq \bar{f}; \\ p_{c1}, & f' < \bar{f}. \end{cases} \quad (4)$$

$$P_m = \begin{cases} p_{m1} - \frac{(p_{m1} - p_{m2})(f - \bar{f})}{f_{\max} - \bar{f}}, & f \geq \bar{f}; \\ p_{m1}, & f < \bar{f}. \end{cases} \quad (5)$$

其中: p_{c1} 和 p_{c2} 为交叉算子控制参数, p_{m1} 和 p_{m2} 为变异算子控制参数, f_{\max} 为当代群体中个体的最大适应值, \bar{f} 为当代群体的平均适应值, f' 为要交叉的两个个体中较大的适应值, f 为要变异的个体的适应值.

3.4 算法修正机制

定义 1 一个解称之为可行解, 当且仅当满足 $\sum_{j=1}^{m_i} u_{ij} = m'_i$, 否则, 称之为非可行解.

由于交叉和变异的随机性, 在交叉和变异操作过程中, 会产生一些不满足约束条件的非可行解. 因此, 为了确保每一代个体在进行适应度评价之前满足约束条件, 引入如下算法修正机制:

$$u_{ij} = \begin{cases} u_{ij}, & \sum_{j=1}^{m_i} u_{ij} = m'_i; \\ 1 - u_{ij}, & \text{否则}. \end{cases} \quad (6)$$

修正的方法是, 在发生交叉或变异的专题 y_i 的相应染色体段内对等位基因进行筛选, 对不能使个体适应值降低的等位基因进行变异操作, 使该个体满足约束条件.

3.5 算法描述

应用上述设计的自适应遗传算法求解重大工程论证专家选择优化问题的具体算法步骤如下:

Step 1: 初始化. 令 $t = 1$, 生成初始群体.

Step 2: 如果 t 达到最大迭代次数, 或已经找到最优解, 则转 Step 9; 否则, 转 Step 3.

Step 3: 根据式 (1) 计算每个个体的适应值, 并统计群体的平均适应值和最大适应值.

Step 4: 按照联赛和精英混合选择算子操作形成新一代群体.

Step 5: 随机配对. 如果配对双方中的某个体适应值等于当前最大适应值, 则保留该个体; 否则, 由式 (4) 计算交叉概率 P_c , 并按 P_c 进行交叉操作.

Step 6: 根据式 (5) 计算变异概率 P_m , 并按 P_m 进行变异操作.

Step 7: 根据式 (6) 执行修正机制.

Step 8: 令 $t = t + 1$, 转 Step 2.

Step 9: 满足算法终止条件, 将具有最大适应度的个体作为最优解, 输出论证专家优化组合方案, 算法结束.

4 数值算例与算法分析

4.1 数值算例

假设 1 某项重大水利工程的论证工作分为综

表 1 论证专家候选人数与拟选人数

工程专题	CP	FC	ST	EPS	MS	HR	GE	PB	MEE	PPPC	EMI	EE	IB	CEA
候选人数	8	5	7	6	6	5	6	7	6	8	7	7	5	7
拟定人数	4	2	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	2	4

表 2 候选专家评价分值表

专家编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>k</i>	4.1	4.0	3.3	3.8	3.4	4.5	3.5	3.2	3.7	4.2	3.5	4.3	3.8	3.9	3.5	4.0	4.5	3.9
<i>e</i>	3.5	2.8	3.8	4.2	3.0	3.8	4.0	3.0	3.5	3.0	3.3	3.8	4.5	4.3	3.6	3.5	4.0	3.7
<i>q</i>	3.8	3.6	3.7	3.9	3.8	3.8	3.6	3.5	4.4	3.5	3.7	3.6	3.9	4.0	3.4	3.9	3.7	3.5
<i>i</i>	3.5	3.1	3.4	4.3	3.3	3.9	3.8	3.6	3.7	3.4	3.6	4.1	4.3	3.8	3.7	3.7	3.7	3.4
<i>t</i>	3.7	3.6	3.6	4.0	3.7	4.2	3.5	3.4	3.9	3.8	3.5	3.4	3.8	3.5	4.2	3.8	3.8	3.8
<i>r</i>	3.3	2.3	3.1	3.6	2.7	2.5	3.7	2.3	2.6	3.0	1.8	3.2	2.6	2.1	2.9	3.0	3.3	3.0
专家编号	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
<i>k</i>	3.8	3.2	3.8	3.0	4.0	3.5	3.5	4.3	3.8	3.5	3.3	3.7	4.3	3.9	3.5	4.2	3.8	3.7
<i>e</i>	3.0	3.3	3.4	3.6	3.7	3.2	3.8	4.0	3.3	3.7	3.4	3.6	3.8	3.0	3.3	3.8	3.4	2.8
<i>q</i>	3.7	3.8	4.2	3.5	3.6	3.6	3.7	4.2	3.9	4.1	3.8	3.5	3.8	3.7	4.0	3.9	3.7	3.6
<i>i</i>	3.1	3.4	3.5	3.7	4.1	3.7	4.0	3.9	3.4	3.6	3.5	3.4	3.7	3.3	3.7	4.3	3.4	3.5
<i>t</i>	3.8	3.6	3.6	3.4	3.6	3.3	3.8	3.8	3.7	3.8	3.5	3.7	4.0	3.6	3.4	3.7	3.3	3.8
<i>r</i>	2.5	3.4	2.4	2.6	3.5	3.0	2.3	2.2	3.2	2.8	2.0	2.6	3.3	2.3	2.1	2.0	3.7	1.8
专家编号	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
<i>k</i>	4.0	3.7	3.9	3.3	4.4	4.1	3.7	3.3	4.3	3.6	3.9	3.7	4.0	3.5	3.9	4.3	3.2	3.8
<i>e</i>	3.8	3.1	3.5	2.8	3.7	3.5	4.0	3.6	4.4	3.3	3.5	3.0	3.9	3.0	3.2	3.7	3.3	4.2
<i>q</i>	4.2	3.8	3.6	3.6	4.3	3.4	3.9	3.4	4.1	3.8	3.7	3.6	4.3	3.7	3.8	4.1	3.5	3.7
<i>i</i>	4.1	3.4	3.5	3.1	3.6	3.5	4.1	3.4	4.2	3.4	3.6	3.3	3.7	3.2	3.3	3.6	3.8	4.3
<i>t</i>	4.0	3.7	3.6	3.8	3.9	3.6	3.5	4.0	3.3	3.6	3.3	3.5	3.9	3.5	4.1	3.4	3.6	3.9
<i>r</i>	2.0	2.3	2.4	2.3	3.3	2.2	3.4	2.0	3.1	2.3	3.8	2.0	2.4	3.5	2.0	2.4	2.8	2.5
专家编号	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
<i>k</i>	3.5	4.4	4.0	3.7	3.4	3.2	4.4	3.8	3.6	3.8	3.7	3.5	4.2	3.8	3.6	4.1	3.2	3.4
<i>e</i>	3.1	3.8	3.2	3.5	3.0	3.0	3.9	3.4	3.2	4.3	3.2	3.0	3.6	3.4	3.8	4.2	3.0	3.6
<i>q</i>	3.6	4.0	3.8	4.1	3.5	3.7	3.8	4.3	3.8	4.0	3.7	3.6	4.4	3.7	3.5	4.0	3.5	3.5
<i>i</i>	3.5	3.9	3.7	4.3	3.2	3.7	4.0	3.7	3.3	4.1	3.4	3.9	3.7	3.6	4.5	3.9	3.3	3.8
<i>t</i>	3.4	3.8	3.6	4.1	3.6	4.0	3.6	4.0	4.3	3.7	3.4	3.4	3.1	3.5	4.1	3.4	3.8	3.7
<i>r</i>	3.2	3.2	2.3	2.7	3.2	1.7	2.2	2.5	2.8	3.5	3.2	2.0	3.3	3.0	2.6	2.5	2.7	2.9
专家编号	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
<i>k</i>	3.6	4.2	3.3	3.9	3.8	4.0	3.7	3.8	4.2	4.3	3.3	3.2	3.6	3.5	3.7	4.4	3.8	4.1
<i>e</i>	3.3	4.1	3.0	4.3	3.2	3.8	3.2	4.3	4.0	3.8	3.6	3.5	4.0	3.1	3.3	4.2	3.2	3.7
<i>q</i>	4.2	3.8	3.6	4.1	3.6	3.8	3.9	3.5	3.7	4.0	4.3	3.7	3.8	3.7	4.1	3.8	3.6	3.9
<i>i</i>	3.5	3.9	3.5	4.0	3.5	3.7	3.5	4.2	3.9	4.2	3.4	3.6	3.9	3.8	3.4	3.6	4.0	3.8
<i>t</i>	3.9	3.4	3.7	4.2	3.4	3.5	4.3	3.3	3.8	3.7	4.1	3.4	3.4	3.6	3.5	3.2	3.3	3.7
<i>r</i>	2.3	2.1	2.4	2.6	2.7	2.3	3.4	2.5	2.3	1.8	2.4	2.5	3.0	2.8	2.1	3.4	2.2	2.0

合规划(CP), 防洪(FC), 航运(ST), 电力系统(EPS), 泥沙(MS), 水文(HR), 地质地震(GE), 枢纽建筑(PB), 机电设备(MEE), 施工(PPPC), 移民(EMI), 生态与环境(EE), 投资预算(IB)和综合经济评估(CEA)等共14项专题. 上述专题的候选专家人数和拟选定人数见表1, 对各候选专家进行评价的结果如表2所示. 目标函数为 $f = \max Z$, 式(1)中的权重 W_k 分别为0.25, 0.30, 0.10, 0.15, 0.10和0.10, $s = 5.0$.

假设 2 种群规模为 $N = 100$, 联赛控制参数 $q = 2$, 最大迭代次数 $G_{\max} = 300$. 交叉算子控制参数 $p_{c1} = 0.90, p_{c2} = 0.60$, 变异算子控制参数 $p_{m1} = 0.03,$

$p_{m2} = 0.001$.

根据上述设计的自适应遗传算法和给定的参数

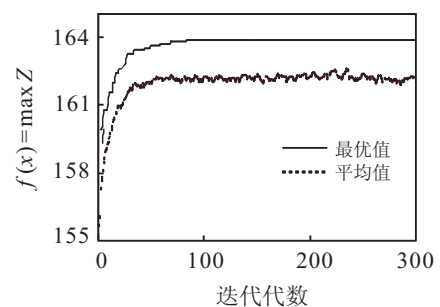


图 2 max Z 准则下算法迭代过程

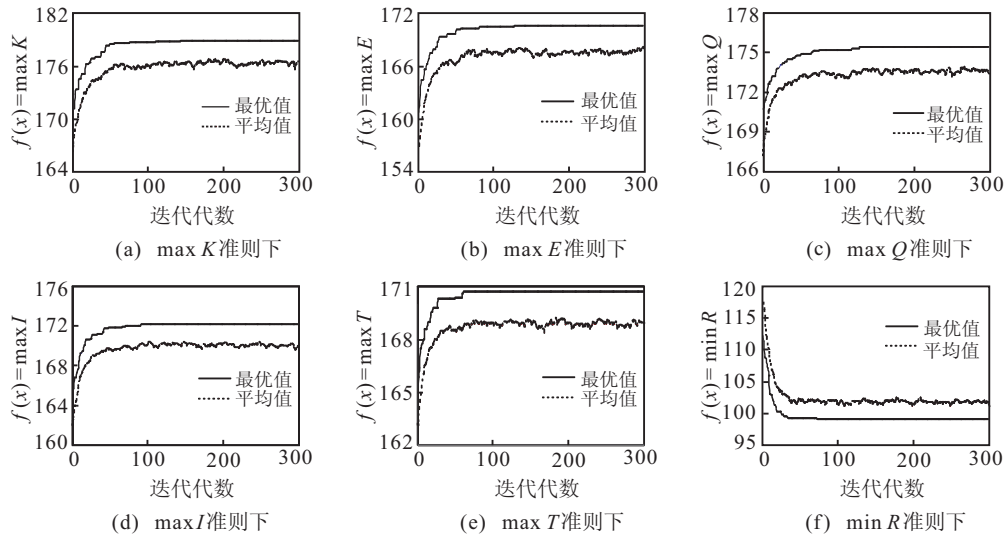


图3 不同准则下算法迭代过程

表3 选定的专家群体

工程专题	CP	FC	ST	EPS	MS	HR	GE	PB	MEE	PPPC	EMI	EE	IB	CEA
选定专家	1	12	14	23	28	33	41	44	52	58	67	74	81	85
	4	13	16	25	30	34	42	45	54	61	69	76	82	88
	6		17	26	31	37	43	46	56	62	70	78		89
	7							49		64				90

值,用 Visual Basic 6.0 编程,迭代优化计算得到目标函数 $f = \max Z$ 的值从 159.310 迅速收敛到 163.820,运算得到的论证专家最优组合方案如表 3 所示,图 2 为算法相应的迭代过程,图 3 为其他准则下算法相应的迭代过程,表 4 为不同准则下获得的 Z, K, E, Q, I, T 和 R 值的比较。

表4 不同准则下获得的 Z, K, E, Q, I, T 和 R 值的比较

准则	Z	K	E	Q	I	T	R
$\max Z$	163.820	175.4	169.0	170.8	170.8	162.6	117.9
$\max K$	161.305	178.9	162.1	170.1	165.2	160.8	119.2
$\max E$	163.065	173.8	170.6	169.7	169.9	161.8	122.0
$\max Q$	160.400	171.2	162.5	175.4	164.8	163.9	118.0
$\max I$	161.560	170.3	165.9	168.5	172.1	162.7	117.2
$\max T$	156.840	165.6	155.0	169.4	162.4	169.7	113.3
$\min R$	157.620	167.4	154.4	167.2	162.3	163.0	99.1

根据领域知识最深厚、工程经验最丰富、群体素养最高、创新能力最强、团队精神最好和风险偏好最低等准则,得到不同的专家优化组合方案分别为

- $G^*|_{\max K} =$
 {1, 2, 4, 6; 10, 12; 16, 17, 18; 21, 23, 26; 27, 31, 32; 34, 35, 37; 39, 41, 42; 45, 47, 48, 49; 52, 54, 56; 57, 61, 62, 64; 67, 68, 70; 74, 76, 78; 81, 82; 87, 88, 89, 90};
- $G^*|_{\max E} =$
 {3, 4, 6, 7; 12, 13; 14, 17, 18; 23, 25, 26; 28, 30, 31; 34, 35, 37; 39, 41, 43; 44, 45, 47, 49; 52, 54, 56; 58,

- 61, 62, 64; 67, 69, 70; 74, 76, 78; 80, 81; 84, 85, 88, 90};
- $G^*|_{\max Q} =$
 {1, 4, 5, 6; 9, 13; 14, 16, 20; 21, 25, 26; 27, 28, 31; 33, 34, 37; 38, 41, 43; 45, 46, 49, 50; 51, 52, 56; 58, 62, 63, 64; 67, 68, 70; 73, 74, 76; 82, 83; 85, 87, 88, 90};
- $G^*|_{\max I} =$
 {1, 4, 6, 7; 12, 13; 14, 15, 16; 23, 25, 26; 28, 29, 31; 33, 34, 37; 41, 42, 43; 45, 46, 47, 49; 53, 54, 56; 58, 60, 61, 64; 66, 69, 70; 72, 74, 76; 80, 82; 85, 86, 89, 90};
- $G^*|_{\max T} =$
 {1, 4, 5, 6; 9, 13; 15, 17, 19; 23, 25, 26; 28, 30, 31; 34, 36, 37; 38, 40, 41; 44, 46, 48, 49; 51, 54, 56; 58, 60, 62, 63; 68, 69, 71; 73, 75, 76; 79, 83; 84, 86, 87, 90};
- $G^*|_{\min R} =$
 {2, 5, 6, 8; 11, 13; 14, 15, 19; 21, 25, 26; 29, 30, 32; 34, 36, 37; 38, 40, 42; 44, 46, 48, 49; 51, 52, 54; 57, 60, 61, 62; 66, 69, 70; 73, 74, 78; 81, 82; 84, 87, 89, 90}.

4.2 算法性能分析

图 2 和图 3 中: 实线表示种群中最优个体的目标函数值变化趋势,虚线表示种群平均适应值的变化趋势.从图 2 和图 3 可以看出,在不同准则下,算法的收敛性都比较好,能以适当的收敛速度找到最优解,种群平均适应值在算法的中后期上下波动,表明在中后

期种群的多样性比较好,算法没有陷入局部最优解。

重大工程专家选择问题是一类多目标组合优化问题,属于NP-难题。为了搜索解空间上的全局最优解,并充分利用已获得的解空间信息逼近当前局部最优解,即获得比较好的求泛、求精能力,本文采用了自适应的遗传算子。通过大量实验发现,交叉算子控制参数和变异算子控制参数的不同取值对算法的运行性能具有重大影响。因此,算法的重要问题之一是确定一组合理的控制参数 p_{c_1} 、 p_{c_2} 、 p_{m_1} 和 p_{m_2} 值,以使GA以最佳的搜索轨迹找到最优解。根据式(4)和(5),有

$$\frac{\partial P_c}{\partial p_{c_1}} = \begin{cases} \frac{f_{\max} - f'}{f_{\max} - \bar{f}} \geq 0, f' \geq \bar{f}; \\ 1, f' < \bar{f}. \end{cases} \quad (7)$$

$$\frac{\partial P_c}{\partial p_{c_2}} = \begin{cases} \frac{f' - \bar{f}}{f_{\max} - \bar{f}} \geq 0, f' \geq \bar{f}; \\ 0, f' < \bar{f}. \end{cases} \quad (8)$$

$$\frac{\partial P_m}{\partial p_{m_1}} = \begin{cases} \frac{f_{\max} - f}{f_{\max} - \bar{f}} \geq 0, f \geq \bar{f}; \\ 1, f < \bar{f}. \end{cases} \quad (9)$$

$$\frac{\partial P_m}{\partial p_{m_2}} = \begin{cases} \frac{f - \bar{f}}{f_{\max} - \bar{f}} \geq 0, f \geq \bar{f}; \\ 0, f < \bar{f}. \end{cases} \quad (10)$$

由式(7)~(10)可以看出:在整个定义域上, P_c 是 p_{c_1} 的增函数,是 p_{c_2} 的非减函数($f' \geq \bar{f}$ 时为增函数, $f' < \bar{f}$ 时为常值); P_m 是 p_{m_1} 的增函数,是 p_{m_2} 的非减函数($f \geq \bar{f}$ 时为增函数, $f < \bar{f}$ 时为常值)。以王小平等^[18]给出的参考数值($p_{c_1} = 0.90$, $p_{c_2} = 0.60$, $p_{m_1} = 0.10$, $p_{m_2} = 0.001$ 为初始值,取 p_{c_1} 和 p_{c_2} 的步长为 $\delta_1 = 0.10$, p_{m_1} 的步长为 $\delta_2 = 0.01$, p_{m_2} 的步长为 $\delta_3 = 0.001$,以 $f = \max Z$ 为目标函数,其他参数值均保持不变)进行了大量实验,得到的结论如下(限于篇幅,此处没有给出算法迭代过程图和相应数据):

1) p_{c_1} 和 p_{c_2} 分别以步长 $\delta_1 = 0.10$ 逐步减小,则GA的收敛速度显著下降;若 $p_{c_1} < p_{c_2}$,则最优解被破坏的概率明显增加,使得GA获得的最优值明显减小。

2) p_{m_1} 和 p_{m_2} 值的增加明显提高了种群多样性。二者分别单独提高单个步长 $\delta_2 = 0.01$ 和 $\delta_3 = 0.001$ 时, p_{m_1} 明显提高了种群多样性,而 p_{m_2} 的作用则不十分明显,这说明在保持种群多样性方面, p_{m_1} 起主导作用。但 p_{m_1} 值增加到一定程度时,种群中个体发生变异的基因位数量急剧增加,使得GA成为随机搜索,种群的最优值与平均值十分接近,算法的收敛速度也明显降低。

3) 适合4.1节算例给出的参数值和条件的控制参数范围分别为: $p_{c_1} \in [0.70, 0.90]$, $p_{c_2} \in [0.30, 0.60]$,

$p_{m_1} \in [0.03, 0.05]$, $p_{m_2} \in [0.001, 0.006]$ 。该参数范围也适合于本文提出的这一类问题。

5 结 论

重大工程论证专家团队构建是重大工程进行可行性论证前的一项重要工作。根据重大工程论证专家团队的评价准则构建了论证专家选择的数学模型,并采用自适应遗传算法对该问题进行了求解,算法的迭代过程和运算结果表明所提出的算法是可行而有效的,从而可为决策者提供不同准则下论证专家的最优组合方案。最后针对算法的控制参数对算法性能的影响进行分析,给出了算法控制参数的合理组合范围,为解决这类问题提供了经验数值。本文提出的论证专家选择模型是基于专家团队需求而构建的,在进一步研究中,将考虑论证专家的个性特征,知识能力结构的互补性以及专家个人意愿等,在算法上也可采用其他的优化算法进行求解。

参考文献(References)

- [1] 卢广彦,付超,吴金园,等.重大工程决策过程与决策特征研究——以三峡工程为例[J].中国科技论坛,2008,24(8):20-24.
(Lu G Y, Fu C, Wu J Y, et al. Properties of momentous project and its decision-making — A case study on TGP[J]. Forum on Science and Technology in China, 2008, 24(8): 20-24.)
- [2] Wi H, Oh S, Mun J, et al. A team formation model based on knowledge and collaboration[J]. Expert Systems with Application, 2009, 36(5): 9121-9134.
- [3] Shin H S, Huang L C, Shyr H J. Recruitment and selection processes through an effective GDSS[J]. Computers and Mathematics with Applications, 2005, 50(10/11/12): 1543-1558.
- [4] Bhadury J, Mighty E J, Damar H. Maximizing workforce diversity in project teams: A network flow approach[J]. Omega, 2000, 28(2): 143-153.
- [5] 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, 38(3): 5775-5783.
- [6] Chien C F, Chen L F. Data mining to improve personnel selection and enhance human capital: A case study in high-technology industry[J]. Expert Systems with Applications, 2008, 34(1): 280-290.
- [7] Shipley M F, Johnson M. A fuzzy approach for selecting project membership to achieve cognitive style goals[J]. European J of Operational Research, 2009, 192(3): 918-928.

- [8] 卢广彦. 重大工程决策失误与重大工程决策机制构建[J]. 中国科技论坛, 2009, 25(4): 30-35.
(Lu G Y. Erratic decision-making on momentous project and establishment of decision-making mechanism for momentous project[J]. Forum on Science and Technology in China, 2009, 25(4): 30-35.)
- [9] Holland J H. Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence[M]. 2nd ed. Cambridge: The MIT Press, 1992.
- [10] Goldberg D E. Genetic algorithm in search, optimization and machine learning[M]. MA: Addison Wesley Publishing Company, 1989.
- [11] DeJong K A. An analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems[D]. Michigan: Computer and Communication Sciences Department, University of Michigan, Ann Arbor, 1975.
- [12] 玄光男, 程润伟. 遗传算法与工程优化[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
(Xuan G N, Cheng R W. Genetic algorithms and engineering optimization[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.)
- [13] 王军, 李端. 多项式0-1规划中隐枚举算法的改进及应用[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(3): 21-27.
(Wang J, Li D. A new implicit enumeration method for polynomial 0-1 programming and applications[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2007, 27(3): 21-27.)
- [14] Chaiyaratana N, Zalzal A S. Recent developments in evolutionary and genetic algorithm: Theory and applications[C]. Proc of Genetic Algorithm in Engineering Systems: Innovations and Application. Glasgow, 1997: 270-277.
- [15] 杜先进, 孙树栋, 司书宾, 等. 不确定条件下多目标R&D项目组合选择优化[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(2): 98-104.
(Du X J, Sun S D, Si S B, et al. Multi-objective R&D portfolio selection optimization under uncertainty[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2008, 28(2): 98-104.)
- [16] 吕强, 陈如清, 俞金寿. 量子连续粒子群优化算法及其应用[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(5): 122-130.
(Lv Q, Chen R Q, Yu J S. Quantum continuous particle swarm optimization algorithm and its application[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2008, 28(5): 122-130.)
- [17] 李敏强, 寇纪淞, 林丹, 等. 遗传算法的理论基础与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
(Li M Q, Kou J S, Lin D. Theory and application of genetic algorithm[M]. Beijing: Science Press, 2002.)
- [18] 王小平, 曹立明. 遗传算法——理论, 方法与软件实现[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002.
(Wang X P, Cao L M. Genetic algorithm—Theory, application and soft realization[M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2002.)
- [19] Srinivas W M, Patnaik L M. Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithms[J]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics, 1994, 24(4): 656-667.
- [20] Spears W M, DeJong K A. An analysis of multipoint crossover[C]. Proc of the 1st Workshop of the Foundations of Genetic Algorithms. Bloomington, 1990: 301-315.

下 期 要 目

- 卡尔曼一致滤波算法综述 杨 文, 等
- 具有联合椭圆不确定集与概率约束的鲁棒投资组合选择 凌爱凡, 吕江林
- 基于动态模糊神经网络算法的负荷辨识 陶永芹, 崔杜武
- 一种高效的增量式属性约简算法 冯少荣, 张东站
- 基于数据流的Internet网络控制系统延时模型研究 程 论, 王中杰
- 具有模态依赖时延的网络控制系统的 H_∞ 控制 邱 丽, 等
- 大规模无等待流水调度问题的邻域迭代搜索算法 宋存利, 等
- 基于扩张状态观测器的SPMSM调速系统的滑模变结构反步控制 王礼鹏, 等