

基于案例推理的突发事件应急方案生成方法

封超, 杨乃定, 桂维民, 邹林丰

(西北工业大学, 管理学院, 西安 710072)

摘要: 针对突发事件应急方案生成问题, 提出一种考虑属性特征权重影响的应急方案生成方法. 基于案例推理(CBR)理论, 将基本遗传算法(SGA)和粒子群优化算法(PSO)引入属性特征权重的计算中. 通过收集到的数据验证了案例间相似度计算的准确性, 说明了所提出方法的有效性和可行性.

关键词: 突发事件; 案例推理; 遗传算法; PSO算法; 特征权重

中图分类号: C934

文献标志码: A

Method for generating emergency alternative based on case-based reasoning

FENG Chao, YANG Nai-ding, GUI Wei-min, ZOU Lin-feng

(School of Management, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China. Correspondent: FENG Chao, E-mail: fengchao_1008@126.com)

Abstract: To solve the generating emergency alternative problem, the method of considering feature weighting factors for generating emergency alternative is proposed. Based on theory of case-based reasoning, the genetic algorithm and the particle swarm optimization algorithm are introduced into the calculation of the feature weighting. Through the data collected, the accuracy of similarity calculation between cases are verified, and the effectiveness and feasibility of the proposed method are illustrated.

Keywords: emergency; case-based reasoning; genetic algorithm; PSO algorithm; feature weighting

0 引言

突发事件是指“突然发生, 造成或者可能造成严重社会危害, 需要采取应急处置措施予以应对的自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和社会安全事件^[1]”. 突发事件具有不确定性、紧迫性等特点, 导致可供决策者利用的时间和信息资源有限, 需要决策者借鉴以往的历史案例辅助决策. 因此, 如何在庞大的历史案例库中快速、准确地搜索到相似度较高的历史案例, 是近年来一直研究的课题.

基于案例推理(CBR)的应急方案生成方法是解决此类问题的有效方法之一. 1977年, 美国耶鲁大学的Roger等提出了用脚本的方法表示知识, 这被认为是CBR研究的开端^[2]. 之后, CBR经历了从简单的基础应用研究到理论的完善^[3-6]. 目前, 比较有代表性的研究成果有: Ricci等^[7]将CBR应用在森林火灾救援方案的制定上; 张建华等^[8]给出了基于案例推理和规则推理的应急辅助决策方法, 以实现突发事件的

辅助应急决策; 汪季玉等^[9]给出了基于案例推理的应急决策支持系统框架; 张英菊等^[10]给出了一种新的描述应急案例的方法, 并在此基础上实现了基于案例推理的应急辅助决策原型系统; Krupka等^[11]在分析了CBR算法和火灾营救方法的基础上, 给出了应急管理过程中的案例推理模型; Kaisar等^[12]用案例推理的方法实现了城市化学品灾害交通仿真; 樊治平、李永海等^[13-17]给出了基于CBR算法并考虑应急方案实施效果的广义不确定型多属性决策方法; 梁昌勇等^[18]给出了在含非连续多属性的医疗决策案例中的决策知识发现方法.

上述研究大多是通过计算目标案例与历史案例的相似性, 并提取最高相似度的历史案例所对应的应急方案作为目标案例的解决方案, 尤其是在相似度的属性特征权重计算上, 过分依赖于决策者主观设定的特征权重值. 换言之, 决策者主观设定的权重值不同, 所提取的历史案例很可能不同, 这无疑大大影响了方

收稿日期: 2015-06-02; 修回日期: 2015-08-26.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71171162); 陕西省软科学重点项目(2012KRZ02).

作者简介: 封超(1985-), 女, 博士生, 从事决策理论及方法的研究; 杨乃定(1964-), 男, 教授, 博士生导师, 从事决策理论及方法等研究.

法的稳定性.

基于上述分析, 本文将自然界中生物遗传进化原理和粒子群算法应用到求解属性特征权重当中, 提出一种基于历史案例的应急方案生成方法. 所提方法的基本思路为: 首先, 根据基本遗传算法 (SGA) 原理和粒子群优化算法 (PSO), 提出一种新的属性特征权重计算方法 (SGAPSO), 以解决在特征权重向量设置上过分依赖决策者主观设定权重值的问题; 然后, 利用计算后的属性特征权重值, 计算目标案例与历史案例间的相似度, 选出与目标案例相似度较高的历史案例, 参考选出的历史案例对应的应急方案, 根据目标案例自身特点制定出适合当前事件的应急方案.

1 问题描述

为了研究和叙述方便, 规定一些基本符号如下:

$C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 表示历史应急案例集合, C_i 表示历史应急案例集 C 中第 i 个案例, 且 $i \in \{1, 2, \dots, n\}$, n 为正整数;

$S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ 表示应急案例属性集合, S_j 表示应急案例属性集 S 中第 j 个属性, 且 $j \in \{1, 2, \dots, m\}$, m 为正整数;

$w = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ 表示应急案例属性的权重向量, w_j 表示应急案例属性集 S 中第 j 个属性的权重向量, 且满足 $\sum_{k=1}^m w_j = 1$;

在 CBR 算法中, 每一个历史案例可由属性集空间向量代表, 即案例 C_i 的空间特征向量可以表示为 $C_i = \{S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{im}\}$, 则目标案例 C^* 的空间特征向量可以表示为

$$C^* = \{S_1^*, S_2^*, \dots, S_m^*\}.$$

由于本文使用到了粒子群优化算法, 粒子 j 的信息可以用其位置和速度表示如下: 位置表示为 $x_j = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jm})^T$, 速度表示为 $v_j = (v_{j1}, v_{j2}, \dots, v_{jm})^T$, x_{jd}^k 表示粒子 j 在第 k 次迭代中第 d 维的当前位置, v_{jd}^k 表示粒子 j 在第 k 次迭代中第 d 维的速度, $f(x_j)$ 表示个体的适应度函数, pbest 表示粒子当前极值点 (即坐标), gbest 表示粒子在整个种群中的全局极值点的位置. 这里的 n, m, i, j, k 均为正整数.

2 算法设计

2.1 模型的建立

基于上述分析, 本文主要解决的问题是: 如何将 SGA 自适应搜索过程和 PSO 优化过程引入到属性特征权重值的计算上.

由 SGA 的计算原理可知, 其遗传淘汰机制不仅会很快使种群丧失多样性, 而且算法中的个体是没有记忆功能的. 换言之, 群体中的每个个体所经历的遗

传过程 (如当前状态、进化幅度及进化方向等) 不能很好地被反应出来, 但 SGA 的通用性较强, 搜索速度较快, 可以很好地完成全局搜索. 而 PSO 对个体的遗传进化过程是拥有记忆功能的, 可以共享历史和当前的信息, 并且根据这些信息适时地调整进化方向和进化幅度, 但是该算法存在容易陷入局部最优的问题. 因此, 针对 SGA 和 PSO 的优点, 提出了计算属性特征权重的方法 SGAPSO. 该算法的核心思想是: 在 SGA 可以快速完成全局搜索的基础上, 加入 PSO 调整进化方向和幅度的步骤. 其基本步骤如图 1 所示.

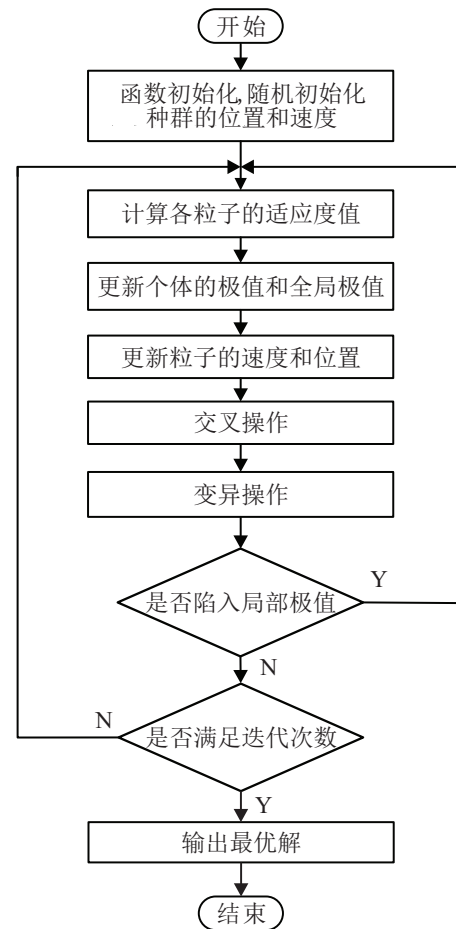


图 1 SGAPSO 计算权重过程和基本步骤

2.2 SGAPSO 计算过程

由 1.1 节中粒子信息向量的表示可知, 其速度和位置更新方程为

$$v_{jd}^{k+1} = v_{jd}^k + c_1 r_1 (pbest_{jd}^k - x_{jd}^k) + c_2 r_2 (gbest_{jd}^k - x_{jd}^k), \quad (1)$$

$$x_{jd}^{k+1} = x_{jd}^k + v_{jd}^{k+1}. \quad (2)$$

其中: r_1 和 r_2 是 $[0, 1]$ 上的随机数, c_1 和 c_2 是加速系数 (即学习因子). 本文将适应度值视为其权值, 权值大的被选中的概率也大, 有

$$P(x_j) = \frac{f(x_j)}{\sum_{m=1}^n f(x_m)} \times n, \quad (3)$$

$$f(x_j) = \frac{1}{n-1} \sum_{m=1}^{n-1} \frac{x_j \times x_m}{|x_j| |x_m|}. \quad (4)$$

下面对 SGAPSO 的计算过程作进一步说明。

1) 设定种群规模 $popsiz$ 、最大进化代数 $maxgen$ 、适应度函数的参数。

2) 在搜索空间内随机产生粒子群的初始位置和速度, 初始化 $gbest$ 和各粒子的 $pbest$, 令迭代次数为 0, 即

```

While (generation < max gens)
{
  if (陷入局部极值)
  {
    for (j = 0; j < m; j++)
      if {f(x'_j) < f(p_j)}
        x_j = x'_j;
      else f(x'_j) = f(x_j);
    end if
  }
  end if
}
end

```

3) 输出的最优解即为属性特征权重值。

3 实验及结果

为了验证本文所提出算法的有效性, 本节设计

了一系列的对比实验, 并将其与已有的算法在“中国天气台风网”上收集到的数据上进行对比。所有的实验都是在一台 CPU 为 Intel(R) Core(TM) i5-2400, 3.10 GHz, 内存为 4 G 的机器上进行的, 实验的软件环境为 Windows7, Matlab7.0。

3.1 数据集收集

以中国天气台风网 (<http://typhoon.weather.com.cn/>) 上收集到的数据, 对本文所提算法进行验证。收集了从 2008~2014 年共 7 年记录在案的 146 期台风事件, 这 7 年台风发生的分布情况如表 1 所示。

表 1 2008~2014 年台风发生事件分布表

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
案例/个	17	22	14	21	25	31	16

在对这 146 个案例深入分析的基础上, 参照文献 [15] 的案例属性设置情况, 本文确定了数据集所包含的属性有 8 个, 即每个案例均包含这 8 个属性, 分别是: 台风类型 S_1 、持续时间 S_2 、中心最低气压 S_3 、最大风速 S_4 、风力 S_5 、移速 S_6 、距城市距离 S_7 、登录我国城市人口密度 S_8 。按照气象学中热带气旋强度作为分类标准, 可将这 146 个案例分为 3 类, 即热带风暴、强热带风暴和热带低压, 类标签分别记为 1、2 和 3。对于缺失的数据, 采用取该属性列的平均值进行填补, 数据集详细的属性特征值如表 2 所示。

表 2 2008~2014 年共 146 个案例属性分布简表

案例	特征属性							
	S_1	S_2/h	$S_3/百帕$	$S_4/(m/s)$	$S_5/级$	$S_6/(km/h)$	S_7/km	$S_8/(人/km^2)$
C_1	2	102	995	23	9	20	825	1 641
C_2	1	96	994	20	8	25	960	2 662
C_3	1	40	992	18	8	25	280	336
C_4	2	78	965	38	13	25	800	5 359
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
C_{145}	3	120	995	40	15	20	1 090	415.5
C_{146}	1	149	998	18	8	30	800	774

3.2 实验设计及结果分析

针对本文需要解决的问题, 设计了以下 2 个实验来验证所提出算法的效果: 1) 验证 SGAPSO 的算法性能; 2) 不同属性特征计算方法对分类结果的影响。实验 1) 的目的是通过使用不同的测试函数对 GA、SO 和 SGAPSO 的算法性能作对比, 以验证本文所提算法在性能上是否有明显优势; 实验 2) 的目的是通过与已有的属性特征值计算方法的计算结果对比, 验证本文所提出的算法的有效性和可行性。

3.2.1 验证 SGAPSO 的算法性能

首先, 将本文所提算法与 SGA 和 PSO 在算法性能上作比较。参数设置参照文献 [19] 和文献 [20], 分别

将学习因子 c_1 和 c_2 设置为 2, SGA 中的选择、交叉和变异概率分别为 0.7、0.15 和 0.15。在常用的 6 个测试优化性能的函数中, 选取比较有代表性的 Tablet 函数和 Rosenbrock 函数来验证 SGA、PSO 和 SGAPSO 的效果, 结果如图 2 和图 3 所示。

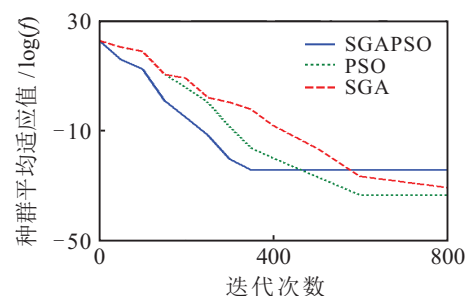


图 2 Tablet 函数优化结果对比

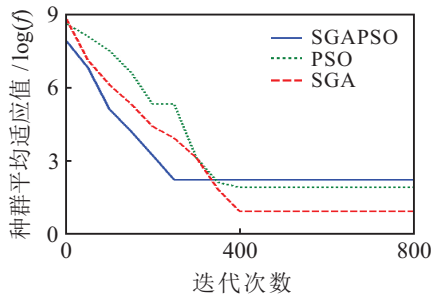


图 3 Rosenbrock 函数优化结果对比

从图 2 可以看出, 迭代次数达到 350 时, SGAPSO 算法最先达到相对基本稳定的状态, 而 PSO 要在 600 次后才可以, 说明本文所提算法相对于 PSO 和 SGA 的性能较优, 能够有效地搜索到全局极值. 从图 3 可以看出, 相比于 PSO 和 SGA, SGAPSO 能够较好地表现出全局收敛性和健壮性. 因此, 本文所提算法从稳定性、收敛性和健壮性上是优于 PSO 和 SGA 的.

3.2.2 不同属性特征计算方法对分类结果的影响

为了验证本文所提方法的客观性, 将专家评判法加入到对比中. 专家评判法具有使用简单、直观性强的特点, 但难以保证评价结果的客观性和准确性, 本节实验所用的专家评判法的具体参数设置参照文献 [13].

由图 2 和图 3 的优化结果可知, 本节实验种群规模设置为 146, 最大进化代数为 200. 由于台风类型 S_1 是已经设定好的用于分类的属性, 即类标签, S_1 仅用于计算分类的准确率和 F_1 指标. 因此, 在属性权重的计算中, 仅计算剩余的 7 个属性. 根据式 (1)~(4) 和 2.2 节所述的计算过程, 可分别计算出使用 SGA、PSO 和 SGAPSO 的特征权重向量为

$$w_{SGA} = \{0.097, 0.361, 0.107, 0.089, 0.274, 0.049, 0.023\},$$

$$w_{PSO} = \{0.108, 0.273, 0.299, 0.146, 0.133, 0.020, 0.021\},$$

$$w_{SGAPSO} = \{0.012, 0.204, 0.317, 0.291, 0.058, 0.118, 0\}.$$

为了验证本文所提属性特征权重算法能够更好地代表案例信息, 能够改善基于 CBR 的相似度计算结果, 采用数据挖掘中常用的数据分类方法——KNN 分类法来分类, 用收集的 146 个案例的 2/3 作为训练数据集 (training examples), 1/3 作为测试数据集 (testing examples) 来训练. 由 3.1 节可知, 这 146 个案例共分为 3 类, 即 $N = 3$. 分别使用专家评判、SGA、PSO 和 SGAPSO 计算的特征权重向量进行案例集的分类计算, 并且选用 F_1 指标来衡量 4 种属性特征权重计算方法下对分类结果的影响, 如表 3 所示.

表 3 不同权重计算方法对分类结果的影响

	专家评判	SGA	PSO	SGAPSO
准确率/%	90.4	76.4	88.9	91.3
F_1 指标	0.921	0.789	0.904	0.925

从表 3 可以看出, 本文所提算法在准确率和 F_1 指标上均优于专家评判、PSO 和 SGA. 结合上述两个实验数据的结果, 本文所提的改进算法不仅表现出了较为稳定的特点, 还表现出了较好的分类效果. 这说明本文所提属性特征权重算法能够更好地代表案例信息, 从而提高 CBR 算法中历史案例选择的准确性, 能够更好地为决策者提供帮助. 根据本文所提算法计算得到的属性特征权重, 再结合 CBR 的目标案例与历史案例相似度计算方法得到最相似的历史案例, 并提取出所对应的应急方案, 且考虑到方案实施效果及成本 [13], 对目标案例方案作出相应的调整, 以应对当前的突发事件.

4 结 论

本文分析归纳了突发事件下应急方案生成问题的基本特征, 将基本遗传算法 (SGA) 和粒子群优化算法 (PSO) 引入到属性特征权重的计算当中, 提出了一种新的基于历史案例的应急方案生成方法. 相比于已有的研究成果, 所提出的方法在特征权重向量设置上, 避免了过分依赖决策者主观设定特征值的问题. 然而, 对于大规模的动态数据集, 以及随着突发事件的演化, 应急方案应随之相应调整的一类动态应急方案生成问题, 本方法还未进行验证, 这些均是今后研究的重点.

参考文献(References)

- [1] 中华人民共和国突发事件应对法[EB/OL]. (2007-08-30) [2015-05-25]. http://www.gov.cn/ziliao/fffg/2007-08/30/_732593.htm. (Emergency response law of People's Republic of China[EB/OL]. (2007-08-30)[2015-05-25]. http://www.gov.cn/ziliao/fffg/2007-08/30/content_732593.htm.)
- [2] 张贤坤. 基于案例推理的应急决策方法研究[D]. 天津: 天津大学计算机科学与技术学院, 2012. (Zhang X K. Research for emergency decision making methods based on case reasoning[D]. Tianjin: School of Computer Science and Technology, Tian jin University, 2012.)
- [3] Kolodner J L, Simpson R L. The mediator: Analysis of an early case-based problem solver[J]. Cognitive Science, 1989, 13(4): 507-549.
- [4] Sycara K. Using case-based reasoning for plan adaptation and repair[C]. Proc of the DARPA Case-Based Reasoning Workshop. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1988: 425-434.
- [5] Bareiss R. Exemplar-based knowledge acquisition: A unified approach to concept representation, classification, and learning[M]. Boston: Academic Press 1989: 159-166.

- [6] Hammond K J. Case-based planning: Viewing planning as a memory task[M]. San Diego: Academic Press, 1989: 187-192.
- [7] Francesco Ricci, Paolo Avesani, Anna Perini. Cases on fire: Applying CBR to emergency management[J]. The New Review of Applied Expert Systems, 1999, 5(6): 175-190.
- [8] 张建华, 刘仲英. 案例推理和规则推理结合的紧急预案信息系统[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2002, 30(7): 890-894.
(Zhang J H, Liu Z Y. Case-based reasoning and rule-based reasoning for emergency preparedness information system[J]. J of Tongji University: Natural Science, 2002, 30(7): 890-894.)
- [9] 汪季玉, 王金桃. 基于案例推理的应急决策支持系统研究[J]. 管理科学, 2003, 16(6): 46-52.
(Wang J Y, Wang J T. A study of emergency decision support system based on case-based reasoning[J]. J of Management Science, 2003, 16(6): 46-52.)
- [10] 张英菊, 仲秋雁, 叶鑫, 等. 基于案例推理的应急辅助决策方法研究[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(4): 1412-1415.
(Zhang Y J, Zhong Q Y, Ye X, et al. Research on method of emergency aid decision-making based on CBR[J]. Application Research of Computers, 2009, 26(4): 1412-1415.)
- [11] Krupka J, Kasparova M, Jirava P. Case-based reasoning model in process of emergency management[J]. Man-machine Interactions, Advances in Intelligent and Soft Computing, 2009, 59(11): 77-84.
- [12] Evangelos Kaisar, Scott Parr, Panagiotis Scarlatos. Traffic simulation modeling for an urban chemical disaster: Emergency evacuation development and case study[C]. 8th Latin American and Caribbean Conf for Engineering and Technology. 2010: 1-10.
- [13] 李永海, 樊治平, 袁媛. 考虑应急方案实施效果的突发事件应急方案生成方法[J]. 控制与决策, 2014, 29(2): 275-280.
(Li Y H, Fan Z P, Yuan Y. Method for generating emergency alternative with considering implementation effects of emergency alternatives[J]. Control and Decision, 2014, 29(2): 275-280.)
- [14] 李永海, 樊治平, 李铭洋. 解决广义不确定型决策问题的案例决策方法[J]. 系统工程学报, 2014, 29(1): 21-28.
(Li Y H, Fan Z P, Li M Y. Case-based decision analysis method for general uncertain decision making problem[J]. J of Systems Engineering, 2014, 29(1): 21-28.)
- [15] 李永海, 樊治平, 袁媛. 基于相似历史案例分析的突发事件应急方案生成方法[J]. 系统工程, 2014, 32(4): 76-81.
(Li Y H, Fan Z P, Yuan Y. Method for generating emergency alternatives based on similar historical case analysis[J]. Systems Engineering, 2014, 32(4): 76-81.)
- [16] Zhi-Ping Fan, Yong-Hai Li, Yao Zhang. Generating project risk response strategies based on CBR: A case study[J]. Expert Systems with Applications, 2015, 42: 2870-2883.
- [17] Zhi-Ping Fan, Yong-Hai Li, Xiaohuan Wang, et al. Hybrid similarity measure for case retrieval in CBR and its application to emergency response towards gas explosion[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(5): 2526-2534.
- [18] 梁昌勇, 顾东晓, 程文娟, 等. 含非连续性信息多属性案例中的决策知识发现方法[J]. 中国管理科学, 2014, 22(4): 83-91.
(Liang C Y, Gu D X, Cheng W J, et al. A Decision Knowledge Discovery Method for Multi-attribute Cases with Non-continuous Features[J]. Chinese J of Management Science, 2014, 22(4): 83-91.)
- [19] 雷秀娟, 付阿利, 孙晶晶. 改进 PSO 算法的性能分析与研究[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(2): 453-458.
(Lei X J, Fu A L, Sun J J. Performance analyzing and researching of improved PSO algorithm[J]. Application Research of Computers, 2010, 27(2): 453-458.)
- [20] 赫然, 王永吉, 王青, 等. 一种改进的自适应逃逸微粒群算法及实验分析[J]. 软件学报, 2005, 16(12): 2036-2044.
(He R, Wang Y J, Wang Q, et al. An improved particle swarm optimization based on self-adaptive escape velocity[J]. J of Software, 2005, 16(12): 2036-2044.)

(责任编辑: 齐 霖)