



基于 CBR 的电力事故应急辅助决策方法

门永生^{1,2}, 刘山葆³

(1. 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083;

2. 国网智能电网研究院, 北京 102209; 3. 广东省通信管理局, 广东 广州 510080)

摘要:应用案例推理方法生成电力事故应急决策与处置方案, 可以为电力事故应急决策者提供科学的辅助决策支持。通过对电力事故应急处置过程的分析, 给出电力事故案例总体情况、处置流程、实施效果 3 个方面的特征属性表示框架。应用相似度计算和归纳式检索两种方法进行相似案例检索, 提出通过专家打分确定模糊属性的隶属函数, 应用隶属函数计算模糊属性的相似度。探讨了案例修正与案例学习方法, 并给出了基于案例推理的电力事故应急辅助决策过程。

关键词:电力事故; 案例推理; 应急; 辅助决策

中图分类号: X921

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015385

Power emergency assistant decision methods based on CBR

MEN Yongsheng^{1,2}, LIU Shanbao³

1. Civil and Environment Engineering School, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China

2. State Grid Smart Grid Research Institute, Beijing 102209, China

3. Guangdong Communication Management Bureau, Guangzhou 510080, China

Abstract: Application of case-based reasoning (CBR) to generate grid infrastructure accidents emergency disposal scheme, can provide auxiliary decision scientific method for emergency people. Through investigation and analysis of the electric accident case, conclude basic situation, disposal process, disposal effect in three aspects of the characteristic attributes presentation framework of power accidents. Search similar case in two methods by means of inductive retrieval and similarity calculation. The determination of membership function of fuzzy attributes by using expert scoring was put forward. Fuzzy attribute similarity by membership functions was calculated and the power accidents case-based reasoning emergency disposal of the auxiliary decision-making process were given.

Key words: power accident, case-based reasoning, emergency, assistant decision

1 引言

我国电力工业正处于高速发展时期, 各类自然灾害及电力系统突发事件频发, 对电网设施安全运行造成严重威胁^[1]。2009 年南方雨雪冰冻灾害、2013 年四川雅安

特大地震等都对变电站、输电线路等电网设施造成了灾难性打击, 给人民群众生活与社会稳定带来巨大影响^[2]。电力事故应急处置要求标准较高, 在紧急情况下利用科学的方法与智能化的手段辅助决策者进行科学决策, 成为当前电力安全与应急工作迫切希望得到解决的问题, 而基于案例



推理的应急决策方法恰恰提供了解决思路与方法^[3]。

案例推理(case-based reasoning, CBR)是人工智能领域近年来兴起的一种创新性的推理方法,该方法最早源于美国耶鲁大学教授 Roger Schank^[4]。所谓案例推理是充分运用以往的经验,采用一定算法或规则的相似性比对,把案例的经验与模式作为解决当前决策问题的参考,进而对源案例进行修正,运用到当前的应急决策中。近年来,国内外在基于案例推理的应急辅助决策领域开展了许多研究工作,如张英菊^[5]针对案例属性缺失问题,设计了基于属性相似度和结构相似度的双层结构框架下的相似度算法;石浩^[6]对决策支持的数据层次进行了分析,并把案例推理应用到火灾预案中。

对于电力事故而言,事故应急响应主要依靠应急人员依靠历史经验和应急预案进行决策,将基于案例推理的智能化决策方法运用到电力事故应急处置过程中,有助于提高电力事故应急抢险能力与水平。

2 电力事故案例特征描述

运用案例推理的方法进行应急决策,其决策效果很大程度上依赖于事故案例知识描述方式以及案例库的结构。针对电力事故应急处置的特点,从事故应急处置的角度考虑,案例必须包含事故基本情况、事故处置过程以及处置效果评价3个部分的内容。

(1) 事故基本情况

包括事故发生时间、地点、周边环境、天气条件、事故类别、事故级别、持续时间、事发地应急抢险队伍与设施等。表1给出了各属性的具体内容。

(2) 事故处置过程

包括参与应急抢险的电力应急队伍及其在抢险过程中所做的工作、使用的专业设备及其发挥的作用、个人防

护装备使用情况、事故演变过程、事故处置的主要决策等。

(3) 事故处置效果

包括各项抢险措施的有效性、事故影响范围、经济损失、事故处置的经验教训等。

3 电力事故案例知识提取方法

电力事故进行应急决策时需要从已有案例库中检索与事故相似度最高的案例作为参考,这个检索的过程和方法决定了案例推理学习的效能。事故案例中包含了多种属性,按照属性特征可分为4类:数值型属性,这类属性用数值表示,如事故发生地当时的温度、风速;无序枚举型属性,如事故的类型可分为设备事故、电网调度运行事故等;有序枚举型属性,如按照事故的级别可以分为一般、较大、重大和特别重大等,或者按照其他标准进行的有序型分类;模糊属性,对于事故应急处置效果的评价可以采用{很好、较好、一般、较差、很差}模糊概念属性。

在进行基于案例推理的应急辅助决策时,需要针对不同属性的特征采用相应的方法进行案例检索,本文提出了归纳式推理检索和相似度计算两种方法。

3.1 归纳式推理检索

归纳式推理检索是采用归纳的方式,按照事故案的层级关系和构建规则建立案例数据库。当进行新的应急事件检索时,只要按照该事件所属的类别,即可找出相似度最高的案例。

针对无序枚举和有序枚举型属性,可以运用基于决策树的学习算法进行案例的检索。具体流程是从案例的各组成部分提取能将事故案例有效区分的要素,并根据这些要素将事故案例构建成一个类似于判别网络的层次结构。进行归纳式检索时,按照决策树(decision tree)的运作方式进行案例检索。

3.2 案例相似度算法

3.2.1 属性相似度算法

案例推理的核心是案例相似度算法的设计。最近相邻算法是CBR检索算法中最常用,也是相对比较成熟的算法之一。应用传统最近相邻算法时,首先计算出案例属性相似度,然后根据属性的权值计算案例之间的加权相似度,要求案例的属性值不能为空。

常用两个对象在特征空间中的距离来描述两个案例间的相似性。常用的距离度量函数有欧拉距离和Hamming距离^[7]。

表1 事故基本情况描述

属性	具体内容
时间	发生的日期,发生的具体时间:白天或晚间
事故发生地	事故发生具体位置
周边环境	道路、人员情况;如城市主干道、人员密集区等
天气条件	对事故处置可能产生影响的风力、降雨、气温、湿度等条件
事故类别	人身伤亡事故、电力生产设备事故、电力事故等
事故级别	特别重大事故、重大事故、较大事故、一般事故
持续时间	抢险各阶段(事故控制、事故处置完成等)的持续时间
应急队伍与设备	如电力应急基干抢险队伍10 min到达,携带便携发电机等

欧拉距离度量法:

$$\text{Sim}(X,Y)=1-\text{Dist}(X,Y)=1-\sqrt{\sum W_i D^2(X_i,Y_i)} \quad (1)$$

Hamming 距离度量法:

$$\text{Sim}(X,Y)=1-\text{Dist}(X,Y)=1-\sum W_i D(X_i,Y_i) \quad (2)$$

其中,权重 W_i 表示第 i 个属性的重要度。

$$D(X_i,Y_i)=\begin{cases} |X_i-Y_i|/|\max_i-\min_i|, & D_i \text{ 是数值属性} \\ 0, & D_i \text{ 是字符属性, 且 } X_i=Y_i \\ 1, & D_i \text{ 是字符属性, 且 } X_i \neq Y_i \end{cases} \quad (3)$$

这种相似性度量方法,可以用于数值型属性和无序枚举型属性。对于有序枚举型属性,可以采用:

$$D(X_i,Y_i)=\left| \frac{X_i-Y_i}{m} \right| \quad (4)$$

其中, m 表示属性 i 的取值个数。

在电力事故案例中存在许多模糊属性,模糊属性常用梯形模糊集、高斯函数、三角形模糊集等模拟其隶属函数。部分属性主要依靠人的主观判断来进行,例如对事故应急处置效果的评价。

本文采用模糊评价方法将事故案例中的模糊属性分为 5 个等级,则有评语集 $V=\{V_1,V_2,V_3,V_4,V_5\}$,例如 V_1 表示处置效果很好, V_2 表示较好, V_3 表示一般, V_4 表示较差, V_5 表示很差。邀请具有丰富电力事故处置经验的 20 名专家对案例中的多种模糊属性进行评价,给出不同案例各模糊属性的隶属函数关系。例如针对 X 和 Y 两个电力事故处置效果属性进行专家打分,隶属关系见表 2。

表 2 处置效果评价统计

事故	很好	较好	一般	较差	很差
X	6	10	3	1	0
Y	5	9	5	0	1

对于模糊属性,可以采用:

$$D(X_i,Y_i)=\frac{\left| \sum_{j=1}^5 A_j V_{X_{ij}} - \sum_{j=1}^5 A_j V_{Y_{ij}} \right|}{6N} \quad (5)$$

其中, N 为专家总人数; $V_{X_{ij}}, V_{Y_{ij}}$ 分别表示对事故 X, Y 第 i 个属性给出第 j 个评语的专家人数。

权重 $A=\{A_1,A_2,A_3,A_4,A_5\}=\{3,1,0,-1,-3\}$,针对不同属性特征根据实际需求对权重进行修改。

由于电力事故致灾因子众多,而各种特征属性作用于事故案例的程度也不同,因此对于属性权重的确定是进行

案例推理的关键。确定权重的方法较多,可基于粗糙—模糊集理论计算各属性的权重,也可采用层次分析法确定属重系数。本文选取了常用的领域专家打分法。

3.2.2 结构相似度算法

结构相似度的计算是进行案例推理的关键环节,结合电力事故特点设计案例结构相似度算法如下:假定需要案例库中的源案例 a 与目标案例 b 进行结构匹配,描述该结构的相似度计算算法如图 1 所示。

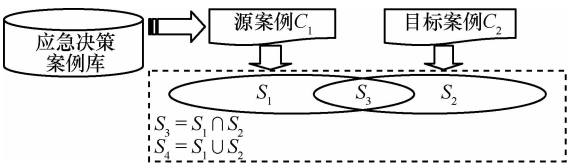


图 1 结构相似度算法设计

从案例库中提取源案例 C_1 , 计算 C_1 所有非空属性构成的集合,记为 S_1 ;然后需要计算与之准备进行匹配的目标案例 C_2 的所有非空属性构成的集合,记为 S_2 ;进一步计算 S_1 与 S_2 的交集和并集,分别记为 S_3 和 S_4 ;计算交集 S_3 中所有属性的权重和,记为 w_1 ;计算并集 S_4 中所有属性的权重和,记为 w_2 ;将源案例 C_1 和目标案例 C_2 的结构相似度记为 S ,则案例结构相似度为:

$$S=w_1/w_2 \quad (6)$$

4 基于 CBR 的电力事故应急决策过程

4.1 电力事故应急决策案例推理流程

图 2 给出了电力事故应急决策案例推理的基本流程,具体可以分为以下几个步骤。

(1) 事故信息输入

一旦发生电力事故,要通过各种渠道快速获取案例推理所需的详细信息、输入模型中对应的各变量并进行知识解释,完成突发事件标准化流程的信息输入。

(2) 案例检索与匹配

应用相似度计算与归纳式检索方法,从案例库中进行有效检索,利用设计好的规则依次计算当前应急事件与案例相应类型模型的相似度,有则进行修正,生成处置方案;没有则输出一组近似案例,根据应急决策事实,依据案例规则进行推理和方案修正,生成处置方案。

(3) 案例修正

根据专家判断和规则推理修正处置方案,使之适合于解决当前应急决策事件,生成方案;访问知识库,结合当前事件的特征,依照知识库中存储的专家知识及案例修正规

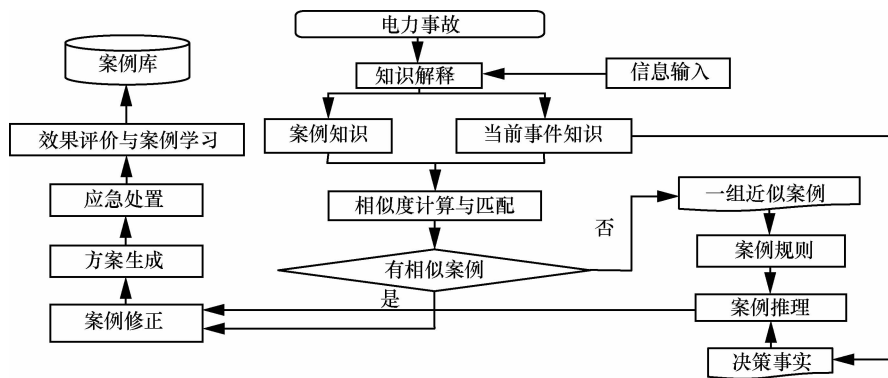


图2 电力事故应急决策案例推理流程

则对处置方案进行合理化修正。

(4) 应急决策方案生成

将合理化修正后的应急决策方案输出,为应急决策者提供科学合理的指导意见,完成科学的应急辅助决策。

(5) 应急方案评估及保存

电力事故应急处置结束后,要对效果进行评估,并根据既定的案例自学习策略,将符合条件的新案例增加到案例库中保存,以备今后使用。

5 结束语

本文结合电力事故的特点,简述了基于 CBR 的电力事故应急决策方法,重点介绍了案例特征属性的描述框架,提出归纳式检索和相似度计算两种方法搜索相似案例,并通过专家打分确定模糊属性的隶属函数,并计算模糊属性的相似度。最后,给出了基于 CBR 模型的电力事故应急决策过程。

当前许多案例结构规范性不够,对电力事故的演化过程、处置措施的描述过于简单,影响了案例推理的辅助决策效果。在应急辅助决策方法上,需要将案例推理与规则推理、数据挖掘等方法相结合,从而更好地解决电力事故应急辅助决策问题。

参考文献:

- [1] 郭剑波. 我国电力科技现状与发展趋势 [J]. 电网技术, 2006, 30(18): 1-7.
GUO J B. Current situation and development trend of electric power technology in China[J]. Power Grid Technology, 2006, 30(18): 1-7.
- [2] 门永生, 金龙哲, 朱朝阳, 等. 电力突发事件应急标准体系框架研究[J]. 电信科学, 2013, 29(11): 104-108.
MEN Y S, JIN L Z, ZHU C Y, et al. Research on emergency

standard framework of power emergencies [J]. Telecommunications Science, 2013, 29(11): 104-108.

- [3] 刘武警. 基于本体的电网应急案例表示方法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
LIU W J. The method of the research on power grid emergency case based on ontology [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013.
- [4] SCHANK R. Dynamic memory: a theory of reminding and learning in computers and people [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.
- [5] 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.
- [6] 石浩. 基于案例推理的城市应急决策支持系统的研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2004.
SHI H. Study on city emergency decision support system based on CBR[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2004.
- [7] BAUMEISTER J, ATZMULLER M, PUPPE F. Inductive learning for case-based diagnosis with multiple faults[C]//The 6th European Conference Advances in Case-Based Reasoning (ECCBR2002), September 4-7, 2002, Aberdeen, Scotland, UK. Berlin: Springer, 2002: 28-43.

[作者简介]



门永生 (1981-), 男, 北京科技大学博士生, 国网智能电网研究院工程师, 主要研究方向为安全科学与工程、电力应急技术。

刘山葆 (1972-), 男, 广东省通信管理局工程师, 主要从事通信技术及管理工作。