

融合案例与模糊推理的供水管网事故检测

张 娇¹, 赵 颖²

(1. 渤海大学 信息科学与技术学院, 辽宁 锦州 121013;
2. 辽宁工业大学 计算机中心, 辽宁 锦州 121001)

摘 要:针对城市供水管网事故频繁发生的现状,文中基于案例推理和模糊推理展开研究,为事故检测提供理论与方法。首先,构造事故检测模型,采用负压波法检测故障是否发生以及定位故障点位置;然后,研究案例推理,利用 K -均值和相似度算法计算目标案例与源案例之间的相似程度;接着,研究模糊推理,包括模糊推理基本形式以及推理方法;最后,提出一种融合案例推理和模糊推理的新推理机制进行供水管网事故检测。文中的研究内容有助于供水管网的维护及正常运行。

关键词:案例推理;模糊推理;供水管网;事故检测

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2016)01-0167-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2016.01.036

Incident Detection for Water Supply Network Based on Case-based Reasoning and Fuzzy-based Reasoning

ZHANG Jiao¹, ZHAO Ying²

(1. College of Information Science and Technology, Bohai University, Jinzhou 121013, China;
2. Computer Center, Liaoning University of Technology, Jinzhou 121001, China)

Abstract: The research based on case-based reasoning and fuzzy-based reasoning provides the theory and method for the incident detection, aiming at the current situation in which incidents often occur frequently. Firstly, the incident detection model was constructed and the negative pressure wave method was used to detect incident and locate the incident point. Secondly, case-based reasoning is researched, using K -means and similarity algorithm to calculate the degree of similarity between target case and source case. Then, the fuzzy-based reasoning was researched, including its basic form and some reasoning methods. Finally, a new reasoning mechanism composed by case-based reasoning and fuzzy-based reasoning was proposed to detect accidents. Contents proposed in this paper will be helpful to maintain the water supply network as well as normal operation.

Key words: case-based reasoning; fuzzy-based reasoning; water supply network; incident detection

0 引 言

作为城市重要的基础设施,供水管网不仅关系着城市建设,而且和城市居民生活息息相关。随着人口数量以及对供水需求的增加,供水管网将发挥重要的作用^[1]。近年来,由于管道老化等问题导致管网事故频频发生,供水的安全可靠性遭到质疑,如不及时解决故障,将造成巨大的经济损失,同时会给城市居民带来恐慌^[2]。管网事故的发生不仅危害大、影响面广,而且会危及到居民的健康并且浪费有限的资源,如何能够快速并准确地检测管道故障的发生以及推理故障点的

位置,对避免发生重大事故具有重要的现实意义,因此寻找故障检测的方法是非常有必要的^[3]。所以在总结以往发生事故、解决事故经验的基础上,文中将案例推理和模糊推理相结合对管网是否发生事故进行检测。案例推理(Case-Based Reasoning, CBR)是从案例库中寻找与当前案例具有最大相似度的案例来求解问题的一种方法,如果案例库中的案例无法与现实案例匹配,则采用模糊推理(Fuzzy-Based Reasoning, FBR)进行深层次的推理。通过实时监测管网信息情况,定时定量检测是否发生事故,为减少事故发生以及社会经济

损失提供保障^[4-5]。

1 事故检测模型

随着供水管道技术的不断进步,管道检测技术也随之发展,它的发展成熟在很大程度上决定了管道的安全运行。供水管道归根结底来说是压力的管道,供水管网的水压在很大程度上控制管网的正常运行,同时也是用来对整个管网进行优化调度的重要参数之一。因此根据这个原理,采用基于压力的检测技术(负压波法)进行管道压力的实时监测,以此用于检测供水管道是否发生故障,同时用于精确定位故障点的位置。该方法目前已在天然气、石油等管道的检测中有着较广泛的应用,在供水管网方面的研究还比较少^[6-8]。

1.1 负压波法的原理

由于各种原因,供水管网会发生不同性质、不同程度的损坏。当发生故障时,管道内的水压会大于管道外大气的压力,而由于这种压力差会导致故障点位置的水迅速流失。此时,在故障点位置的水的密度会急速减小,进而压力随之降低。由于流体的连续性,此故障点附近的高水压的水会流向此处低压的地方,进而又会导致故障点附近区域压力的降低。此过程一直反复直到到达管道的两端^[9]。假设管道中某一点故障前的压力为 P ,故障后的压力为 P' 。当故障发生后,则有:

$$P > P' \tag{1}$$

即:

$$\Delta P = P - P' > 0 \tag{2}$$

如图 1 所示,现有一条长为 L 的管道,故障点的位置和首站的距离为 X ,管道内的水流速度为 v_0 ,负压波的传播速度为 v_1 ,而从故障点 a 出发的负压波到首站的时间为 t_1 ,到末站的时间为 t_2 。

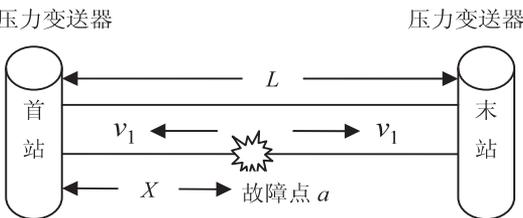


图 1 管道故障点定位示意图

1.2 故障点位置的获取

如上所述,当发生故障时,首站和末站会发生不同程度的压力的变化。根据两端压力变送器检测压力变化的时间差可推算出故障点的位置。

计算公式如下:

$$t_1 = \frac{X}{v_1 - v_0} \tag{3}$$

$$t_2 = \frac{L - X}{v_1 + v_0} \tag{4}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{L - X}{v_1 + v_0} - \frac{X}{v_1 - v_0} \tag{5}$$

由式(5)变形可得,

$$\Delta t = \frac{(L - X)(v_1 - v_0) - X(v_1 + v_0)}{v_1^2 - v_0^2} \tag{6}$$

由于 Δt 在实际中能获得,则通过式(6)的变形能够确定故障点的位置,如下所示:

$$X = \frac{v_1 - v_0}{2v_1} [L - \Delta t(v_1 - v_0)] \tag{7}$$

2 案例推理

案例推理是通过目标案例的提示从案例库中寻找与之相似的历史案例,利用案例库中已有经验或结果中的特定知识即具体案例来解决新问题^[10]。由于案例库中案例数量庞大,为了减少运算步骤和提高运行效率,文中提出一种将 K -means 聚类算法和皮尔逊算法相结合的算法去寻找相似案例,即首先将案例库中的所有案例进行聚类运算,然后将每个类中的具有代表性的案例与目标案例进行比较,从而得到与目标案例最相似的案例。

使用 K -means 聚类算法对所有相似案例进行聚类处理,该算法也称为 K -均值或者 K -平均算法,被认为是目前最流行的聚类技术之一^[11]。该算法首先随机生成 k 个对象作为质心,然后计算每个对象到各个质心的距离,比较各个距离并找出最小的,也就是将它赋给最近的类,最后重新计算每个类的质心;重复进行此操作,直到平方误差和收敛。计算公式如下:

$$S_i = \sum_{i=1}^k \sum_{p \in m_i} \|p - m_i\|^2 \tag{8}$$

$$Z_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} (P_i)^j, j = 1, 2, \dots, k \tag{9}$$

式中, p 为数据对象; C_i 为第 i 个类; m_i 是 C_i 的平均值; Z_j 第 j 个类的质心。

聚类结束,选择所有聚类中的代表点分别与目标案例进行比较,采用皮尔逊相似度计算各个案例与目标案例的相似度,计算公式如下:

$$S(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{(\frac{1}{n-1} S_x S_y)} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \tag{10}$$

式中, S_x 和 S_y 分别为样本的标准偏差,计算公式如下:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (11)$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}} \quad (12)$$

3 模糊推理

模糊推理用于模拟人类日常思维过程,又被称为近似推理,由 Zadeh 在 1965 年提出,指从不精确的前提(模糊规则库)中推理出新的近似模糊的判断结论,其主要过程是用模糊规则完成模糊关系方程^[12]。模糊推理主要包括两种基本形式:第一种是模糊取式(Fuzzy Modus Ponens, FMP),另一种是模糊取式的反向推理,被称为模糊拒取式(Fuzzy Modus Tollens, FMT)。模糊推理发展至今无论在工业控制、农业生产还是交通等领域都得到了广泛而成功的应用^[13]。其表现形式一般如图 2 所示。

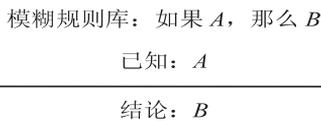


图 2 模糊推理表现形式

为了解决模糊推理问题,国内外学者研究了许多模糊推理算法,主要包括合成推理算法(CRI 方法)、全蕴含算法(三 I 算法)、真值流推理法、基于相似度的方法(AARS)等。无论使用哪种方法,蕴含关系和合成运算是极其重要的,它关系着最终结论的合理性。现假设 A 是 X 的模糊集合, B 是 Y 的模糊集合。

(1)CRI 方法:首先寻找一个适合的蕴含算子 R 将已知的条件 $A \rightarrow B$ 转换成在 $X \times Y$ 上的模糊关系 $R(x, y)$:

$$R(x, y) = A(x) \rightarrow B(y) = R(A(x), B(y)) \quad (13)$$

然后将模糊关系 R 与 A^* 进行合取得到 B^* :

$$B^* = R \wedge A^* \quad (14)$$

其中,在第一步中,使用的蕴含算子是由 Mamdani 构造的,目前在模糊控制中得到广泛的应用:

$$R(x, y) = x \wedge y, x, y \in [0, 1] \quad (15)$$

(2)三 I 算法:作为 CRI 方法的改进,王国俊指出在求解 B^* 时具有随机性质由于使用了合取运算,他提出无论在哪个步骤都要使用蕴含算子。其基本思想是要使 B^* 最大程度地满足 $A \rightarrow B$ 能够推出 $A^* \rightarrow B^*$ 。三 I 原则是三 I 法的核心。

①关于 FMP 问题,在论域 Y 中,其解 B^* 要取式(16)最大值的最大模糊集。

$$(A(x) \rightarrow B(y)) \rightarrow (A^*(x) \rightarrow B^*(y)) \quad (16)$$

②关于 FMT 问题,在论域 X 中,其解 A^* 要取式

(16)最大值的最大模糊集。

(3)AARS:CRI 方法没有还原性,所以会使得到的解与事实不符合,因此提出一种基于相似度计算的方法。AARS 的主要思想为:根据规则 A 和已知事实 A^* 之间的相似度来重新调整 B , 故而重新推理出结论 B^* 。主要步骤如下:

① 计算相似度 $S(A, A^*)$:

$$S(A, A^*) = 1 + \frac{1}{d(A, A^*)} \quad (17)$$

$$d(A, A^*) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (A_k - A_k^*)^2} \quad (18)$$

②根据相似度 $S(A, A^*)$, 利用调整函数 AF 进行适当的修改,重新推理得到 B^* 。调整函数 AF 主要有两种形式:

· 或多或少型:

$$B^* = \min(1, \frac{B}{S}) \quad (19)$$

· 简约型:

$$B^* = B * S \quad (20)$$

③如果触发多条规则,则需要对推理结果进行组合。

4 融合案例和模糊推理对管网故障的检测

CBR 和 FBR 是常用的推理机制,如若单独使用都不能得到很好的结果,只有将两者融合,充分发挥每个机制的优点,共同运行得到满意的结果。CBR 和 FBR 无论以哪种方式融合,都是以下面两种方式为基础:

(1)CBR 为主, FBR 为辅:这种方式适合案例库较庞大、推理系统较完善的情况;

(2)FBR 为主, CBR 为辅:这种情况适合模糊推理系统完善的情况。

人在遇到问题时,首先会回忆过去是否遇到过类似的问题以及当时所采用的解决方法,常常利用以往的经验解决目前的问题。如果过去没有遇到过类似问题,再进行深入的思考。所以文中采用第一种融合方式,通常符合人类的思维过程。CBR 的优点是推理速度快,但当遇到属性不精确的情况,搜索到的结果不一定十分符合实际情况,而 FBR 弥补了这一缺点。因此,促使 CBR 和 FBR 的融合成为可能,这样才能解决复杂的实际问题^[14]。

推理过程如图 3 所示。

在 CBR 和 FBR 的结合中,推理主要分为两个部分:

(1)使用案例推理,对新案例进行描述,从案例库中对案例进行搜索,使用相似度算法计算目标案例与源案例的相似程度,从而判断是否发生此故障;相似度

大,说明发生故障,重用案例库中案例的解决方案;

(2)如果在案例库中没有找到极相似的案例,则采用模糊推理。

具体为将模糊规则库中的模糊规则与案例进行适配,若适配成功说明发生故障。无论哪种方式,最后需要将案例结果保存到案例库中。

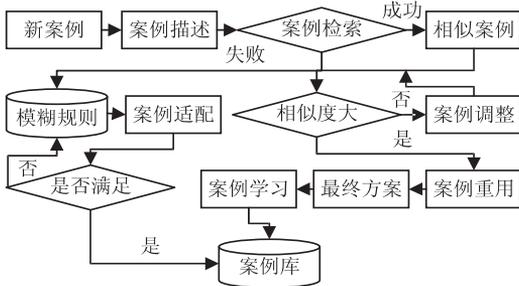


图 3 融合 CBR 和 FBR 的推理过程

5 结束语

供水管网作为建设好城市的基本条件,是保障人民基本生活、发展生产建设的物质基础,被称为是城市的命脉,它的检测与维护是目前面临的最大考验之一^[15]。随着供水管网不断扩大,事故发生的频率也逐渐增大。仅仅凭借传统的经验发现事故已经不能满足现代逐步发展的管网系统。如果等到事故发生时才开始想办法补救,造成的损失不可估量,不仅影响居民的正常生活,更会对社会安定造成深远影响,所以及时并且可靠的对供水管网进行检测起着至关重要的作用^[16]。目前,应用比较广泛的对管道事故检测的方法有流量平衡法和负压波法。

为解决复杂问题,文中提出一种融合 CBR 和 FBR 的推理机制,用于检测供水管网事故的发生。该推理机制模拟人类思维模式解决问题,利用两者的互补性,其融合不仅使检测结果更可靠,而且使检索速度更快、针对性更强。该方法丰富了案例库的内容,为以后解决相似问题奠定了更加坚实的基础。文中的研究内容,对于提高供水管网运营维护水平具有非常重大的意义,能够及时、快速检测故障的发生,实现故障的智能检测,为故障发生后找到解决方案提供基础^[17]。

参考文献:

[1] Kutytowska M, Hotlos H. Failure analysis of water supply sys-

tem in the Polish city of Glogow [J]. *Engineering Failure Analysis*, 2014, 41(1): 23-29.

[2] 戴成林. 供水管网多事故点关阀策略及供水安全保障技术研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2013.

[3] Martini A, Troncosi M, Rivola A. Automatic leak detection in buried plastic pipes of water supply networks by means of vibration measurements [J]. *Shock and Vibration*, 2015(1): 13-14.

[4] Majumdera D, Debnath J, Biswas A. Risk analysis in construction sites using fuzzy reasoning and fuzzy analytic hierarchy process [J]. *Procedia Technology*, 2013, 10(1): 604-614.

[5] 任永昌. 基于 GIS 的供水爆管隐患评价及维护决策 [J]. *计算机技术与发展*, 2012, 22(12): 249-252.

[6] 白志英. 负压波法泄漏监测系统在油品长输管线上的应用 [J]. *设备管理与维修*, 2015, 36(1): 70-71.

[7] 涂敏. 供水管网在线监测漏失定位模型研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.

[8] 任娇, 李季, 王东, 等. 基于负压波和音波的成品油管道泄漏定位综合分析 [J]. *当代化工*, 2014, 43(6): 1064-1066.

[9] 马小林, 王泽根, 谢静文. 负压波在管道泄漏检测与定位中的应用 [J]. *管道技术与设备*, 2013, 20(3): 17-19.

[10] Perner P. Mining sparse and big data by case-based reasoning [J]. *Procedia Computer Science*, 2014, 35(2): 19-20.

[11] Ayeche M W, Ziou D. Segmentation of Terahertz imaging using k-means clustering based on ranked set sampling [J]. *Expert Systems with Applications*, 2015, 42(6): 2959-2974.

[12] 苏良. 基于粗糙集和模糊推理的生活方式病预测研究 [D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2014.

[13] 邓冠男. 模糊推理算法的研究进展 [J]. *东北电力大学学报*, 2013, 33(6): 64-70.

[14] 王重洋, 邱炳文, 龙荣, 等. 基于本体案例推理与规则推理的土地利用空间布局研究 [J]. *资源科学*, 2013, 35(2): 353-361.

[15] 曾武, 倪福勋, 徐速, 等. 江阴市供水管网事故回归模型的建立与分析 [J]. *制造业自动化*, 2011, 33(6): 118-120.

[16] Batzias F A, Siontorou C G, Spanidis P M P. Designing a reliable leak bio-detection system for natural gas pipelines [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, 186(1): 34-35.

[17] 周永峰. 基于 SCADA 的供水运行故障检测系统 [J]. *自动化与信息工程*, 2012, 33(6): 43-48.

融合案例与模糊推理的供水管网事故检测

作者: [张娇](#), [赵颖](#), [ZHANG Jiao](#), [ZHAO Ying](#)
作者单位: [张娇, ZHANG Jiao\(渤海大学 信息科学与技术学院, 辽宁 锦州, 121013\)](#), [赵颖, ZHAO Ying\(辽宁工业大学 计算机中心, 辽宁 锦州, 121001\)](#)
刊名: [计算机技术与发展](#) 
英文刊名:
年, 卷(期): 2016(1)

引用本文格式: [张娇](#). [赵颖](#). [ZHANG Jiao](#). [ZHAO Ying](#) [融合案例与模糊推理的供水管网事故检测](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2016(1)