

(14)

给水工程

排水工程

专家系统

可信度

第 23 卷 第 4 期
1995 年 8 月

同 济 大 学 学 报
JOURNAL OF TONGJI UNIVERSITY

Vol. 23 No. 4
Aug. 1995

43-438

给排水工程专家系统(WTPES)

不精确推理策略*

王荣和

刘遂庆

Tu9P1

(同济大学环境工程学院, 上海, 200092)

摘要 从知识和证据的不确定性、可信度值的更新及传播等方面进行分析, 介绍专家系统不精确推理技术在给排水工程中的应用情况, 以WTPES软件包为例, 介绍知识库结构及不精确推理模型的建立方法。

关键词 专家系统; 不精确推理模型; 可信度; 知识库

中图法分类号 X 7; TP 311

在给排水工程设计中, 有许多自然或人为的因素影响工艺流程的选择, 致使所采用的工艺有许多不尽如人意的地方, 甚至产生设计方案不合理或运行不可靠等诸多缺陷, 同时给工程设计人员徒添了许多额外工作量^[1], 主要原因是在工艺流程选择时, 领域专家只顾及其主要影响因素而没有也不可能从全范围角度进行综合考虑其直接和间接的影响, 从而使给排水设施的实际运行结果与设计前的期望值有一定的差距。为了解决这一普遍性的问题, 国内外专家在这一领域做了大量的研究工作, 提出应用专家系统(Expert System, 简称ES)技术来实现的策略。笔者通过“七五”、“八五”期间的研究探索, 编写WTPES (Water and Wastewater Treatment Process Expert System)软件包, 提出应用不精确推理的方法, 可获得令人满意的推理结果^[2]。

1 WTPES 不精确推理模型的建立

工程领域的专门知识常常带有不精确性, 即问题和数据的不确定性、模糊性、不完备性, 以及专门知识的不精确性。为此, 通过专家系统技术, 对特定领域中探索出来的难免出错但又较为有效的启发式知识给出“精确”程度的度量。主要方法有主观Bayes法、确定性理论方法、证据理论方法、可靠性理论等推理模型^[3]。在WTPES中, 我们采用证据理论方法来建立推理模型^[2]。

在系统建模过程中, 知识工程师通过专家赋值或实例统计等给知识库中每条知识赋予一个可信度因子。不精确推理模型的实质就是启发式过程。根据具体问题初始证据的可信度值和规则的可信度因子, 给出问题求解结论的可信度值。

本文收到日期: 1995年2月20日 第一作者: 男, 1964年生, 讲师

* 国家“七五”、“八五”科技攻关项目

在WTPES中,采用确定性理论建立推理模型,然后进行不精确推理^[4].确定性理论的核心是把确定性度量 $F(A)$ (可信度因子CF以 F 表示)与每个断言 A 联系起来,使得如果 A 已知为真,则 $F(A)=1$; A 为假,则 $F(A)=-1$; A 未知,则 $F(A)=0$.确定性理论由两部分组成,即对断言可信度值的更新和对更新过程的性质进行分析.规则如下^[1,2,4,5].

1.1 知识的不确定性描述 $F(B, A)$

程序中,如果有证据 A ,则存在结论 B ,且其可信度值为某一定值,表示方法为

$$F(B, A) = \begin{cases} [P(B|A) - P(B)] / [1 - P(B)], & P(B|A) > P(B) \geq 0 \\ [P(B|A) - P(B)] / P(B), & 0 < P(B|A) \leq P(B) \end{cases}$$

式中: P 表示发生的概率, $0 \leq P \leq 1$.

1.2 证据的不确定性描述 $F(A)$

当规则中如果有证据 A ,存在结论 B 的前提 A 本身就不确定时,则断言 B 的可信度显然要降低.为此给证据 A 赋以可信度值,用 $F(A)$ 来表示.当前提 A 以某种程度为真时,表示为: $0 \leq F(A) \leq 1$; 当前提 A 以某种程度为假时,表示为 $-1 \leq F(A) \leq 0$.

1.3 可信度因子的更新过程

在WTPES中,我们规定可信度因子的更新过程为

(1) 当 A 为真时,则

$$F(B|A) = \begin{cases} F(B) + F(B, A) - F(B) \cdot F(B, A), & F(B) > 0 \text{ 且 } F(B, A) > 0 \\ F(B) + F(B, A) + F(B) \cdot F(B, A), & F(B) < 0 \text{ 且 } F(B, A) < 0 \\ \frac{F(B) + F(B, A)}{1 - \min(|F(B)|, |F(B, A)|)}, & \text{其它情况} \end{cases}$$

(2) 当 A 不肯定为真时,则

$$F(B|A) = \begin{cases} F(A) \cdot F(B, A), & F(A) > 0.2 \\ \text{不用该规则}, & F(A) \leq 0.2 \end{cases}$$

在此规定当前命题的可信度小于0.2时,则该规则不能触发,目的是在有效性较差时不作推理以节省推理时间^[8].

(3) 断言 B 的可信度值 $F(B) = F(B, A) \cdot \max(0, F(A))$.

1.4 规则组合的可信度传播

当有不同规则支持同一结论时,通过反复使用下式以求得所支持结论的可信度值.

如果有证据 A_1 ,则存在结论 B ,如果有证据 A_2 ,则存在结论 B , ..., 如果有证据 A_n ,则存在结论 B ,有

$$F(B) = \begin{cases} F_1(B) + F_2(B) - F_1(B) \cdot F_2(B), & F_1(B) \geq 0 \text{ 且 } F_2(B) \geq 0 \\ F_1(B) + F_2(B) + F_1(B) \cdot F_2(B), & F_1(B) < 0 \text{ 且 } F_2(B) < 0 \\ F_1(B) + F_2(B), & \text{其它情况} \end{cases}$$

1.5 前提为逻辑组合时的可信度值

若前提命题 A 是多个子命题 A_i 的逻辑组合,则

$$F(A) = F(A_1 \text{ 和 } A_2) = \min(F(A_1), F(A_2));$$

$$F(A) = F(A_1 \text{ 或 } A_2) = \max(F(A_1), F(A_2));$$

$$F(\bar{A}) = -F(A).$$

1.6 信任增长度 M 和不信任增长度 D

在WTPES中,为满足可信度量度的可加性,引入了信任增长度 M 和不信任增长度 D ,定义为

$$M(A|E) = \begin{cases} \frac{\max[P(A|E), P(A)] - P(A)}{1 - P(A)}, & P(A) \neq 1 \\ 0, & P(A) = 1 \end{cases}$$

其中: P 为发生的概率, E 为增加 A 的可信度而提出的证据.

$$D(A|E) = \begin{cases} \frac{\min[P(A|E), P(A)] - P(A)}{-P(A)}, & P(A) \neq 0 \\ 0, & P(A) = 0 \end{cases}$$

同时, 当 $M(A|E) > 0$ 时, $D(A|E) = 0$; 当 $D(A|E) > 0$ 时, $M(A|E) = 0$; $F(A, E) = M(A|E) - D(A|E)$.

当命题为逻辑组合时, 即如果有证据 E_1 , 则有结论 A , 如果有证据 E_2 , 则有结论 A 时, 有

$$M(A|E_1 \text{ 和 } E_2) = \begin{cases} M(A|E_1) + M(A|E_2)(1 - M(A|E_1)), & D(A|E_1 \text{ 和 } E_2) \neq 1 \\ 0, & D(A|E_1 \text{ 和 } E_2) = 1 \end{cases}$$

$$D(A|E_1 \text{ 和 } E_2) = \begin{cases} D(A|E_1) + D(A|E_2)(1 - D(A|E_1)), & M(A|E_1 \text{ 和 } E_2) \neq 1 \\ 0, & M(A|E_1 \text{ 和 } E_2) = 1 \end{cases}$$

应用证据理论方法, 使得系统初始状态推理网络中的每个断言的可信度值均为零, 每条规则的可信度因子由专家给定. 推理过程是把用户提供的初始证据的可信度值沿着推理网络传播给高层次的断言, 直至得出最顶层结论的可信度值. 其特点是直观, 易于使用, 并且各单位元为零.

2 推理模型实现策略

专家系统推理模型的建立, 分两步实现: 第一步是以所获取的知识为基础, 并且构造数据流图、建立数据流词典, 以此为根据来建立框架结构图和知识库; 第二步是以知识库为基础来形成推理网络图, 建立推理模型.

2.1 建立知识库^[2,3,4]

在专家系统设计中, 知识库的建立是至关重要的, 知识库设计得好, 不但节省推理时间, 而且避免知识的冗余性、矛盾性及实时更新; 相反则会产生知识的组合爆炸, 使整个系统瘫痪.

在WTPES中, 知识库由下列部分组成:

(1) 专业词组库. 把所有相关的给排水专业名词收录进去, 并且词组搜索程序可以对同

一事物的不同表达方式进行判断.如“初沉池”、“一沉池”、“初次沉淀池”、“一次沉淀池”都规定为一种表达形式“初沉池”.在库中是以链表形式表达,如

rule000001 [“初沉池”, [“一沉池”, “初次沉淀池”, “一次沉淀池”,]]

其中: rule000001表示规则搜索号;第一个[后的第一字符串“初沉池”表示事物的统一表示方式;第二个[] 中字符串表示同一事物的其它表示方式;最后一“,”表示表中可以继续添加其它相关名词.

(2) 工艺流程库.把水处理工艺中的所有流程包含在内,目的是提高收敛速度,防止构筑物不合理组合而产生组合爆炸.格式为

rule001 [“传统活性污泥法”, [“格栅”, “泵房”, “沉砂池”, “初沉池”, “活性污泥生物处理”, “二沉池”, “污泥处理工艺”,]]

(3) 处理效果库.包含所有工艺对BOD, COD, SS, N, P等的去除效率.表达为

rule001 [“推流式曝气”, [[“BOD”, a_1 , F_1], [“COD”, a_2 , F_2], [“SS”, a_3 , F_3], [“N”, a_4 , F_4], [“P”, a_5 , F_5],]]

其中: a_i 表示专家赋给该工艺对这一污染物的去除率; F_i 表示专家对这一去除率赋给的可信度值.

(4) 知识库.包含工艺流程选择所需的所有知识,是专家系统的核心部分,是推理机推理的主要依据.推理机根据知识库形成推理网络图,根据推理网络图得出推理结果.知识库的表达方式为

rule000001 [知识, 可信度值]

⋮

rule00000m [结论, 可信度值, 命题]

⋮

rule00000n [结论, 可信度值, [命题1, 命题2, …]]

⋮

rule00000x [知识, 综合 F , [[专家1, 专家1赋的 F_1 , 专家1本身的 F_1'], [专家2, 专家2赋的 F_2 , 专家2本身的 F_2'], …]]

其中可信度值都是专家或知识工程师赋予的.综合可信度值计算为

$F_i = M(\text{专家}i\text{赋的}F_i | \text{专家}i\text{本身的}F_i') - D(\text{专家}i\text{赋的}F_i | \text{专家}i\text{本身的}F_i'), i = 1, 2, \dots, n;$

$$F_{i+1} = \begin{cases} F_i + F_{i+1} - F_i \cdot F_{i+1}, & F_i \geq 0 \text{ 且 } F_{i+1} \geq 0 \\ F_i + F_{i+1} + F_i \cdot F_{i+1}, & F_i < 0 \text{ 且 } F_{i+1} < 0 \\ F_i + F_{i+1}, & \text{其它情况} \end{cases}$$

$$i = 1, 2, \dots, n-1$$

(5) 知识搜索程序结构图.知识库非常庞大,必须有合理的搜索系统以遍历整个知识库,并且要对下级单向结点和规则赋可信度值,利用现有知识对以前知识进行动态修改等.在WTPES中,知识库遍历方法见图1^[2,6].

2.2 形成推理网络图

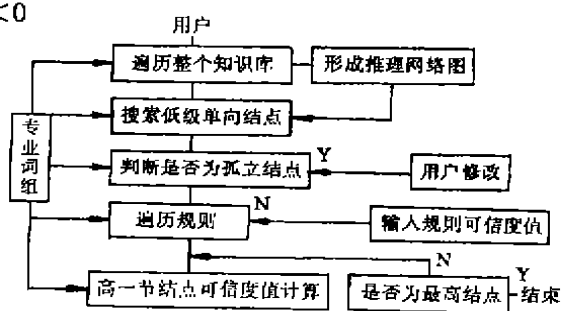


图1 知识库遍历方法

推理网络图是专家系统可信度计算的主要依据和方法,由知识库自动产生.下面以沉砂池推理为例说明WTPES系统的网络结构.

知识库中规则

rule000001 [“沉砂池”,0.4,“平流式”]

rule000002 [“沉砂池”,0.2,“竖流式”]

⋮

rule000027 [“地基”,0.9, [“地下水位”,“地质条件”]]

根据上述规则,形成的推理网络图见图2^[26].

对于上述规则和推理网络图,在WTPES中的推理过程为

找低级单向结点,有A1,A211,A212,A22,A31,A41,A42,A43,A51和A6.假设
 $F(A1)=0.6$, $F(A211)=0.7$, $F(A212)=0.9$, $F(A22)=0.4$, $F(A31)=0.8$, $F(A41)=0.3$,
 $F(A42)=0.9$, $F(A43)=0.8$, $F(A51)=0.5$, $F(A6)=0.7$, 则

$$F(A21)=0.9 \times \max\{0, F(A211 \& A212)\} = 0.63;$$

⋮

$$F(B|B1)=0.4 \times \max\{0, F(B1|A1,A2,A3,A4,A5,A6)\} = 0.2383;$$

$$F(B|B2)=0.2 \times 0.4536 = 0.0907;$$

$$F(B|B3)=0.4 \times 0.7688 = 0.3075;$$

$$F(B)=F(B|B1 \text{ 或 } B2 \text{ 或 } B3)=\max\{F(B|B1), F(B|B2), F(B|B3)\}=0.3075.$$

通过推理计算,得出沉砂池B的 $F=0.3075$;而平流式B1的 $F=0.2383$,竖流式B2的 $F=0.0907$;曝气式B3的 $F=0.3075$.因此推理结论为采用曝气式沉砂池.

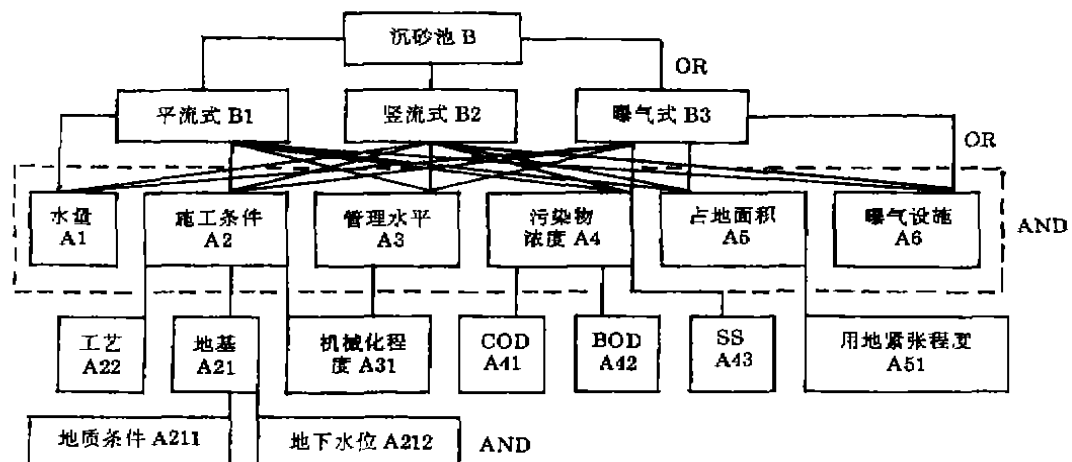


图 2 推理网络图

3 结 论

不精确推理策略,是通过建立推理模型和计算机程序来实现.WTPES软件包在给排水实际工程中取得良好应用效果,证明不精确推理技术对处理像规则和有向模糊集一类的问题

题是有效的;同时由于方法简单可靠,各初始单位元为零,易于程序实现,并且收敛速度快,推理结果分类较明显,易于人工判断选择。

参考文献

- 1 王荣和,顾国维.智能化水处理工程CAD软件集成设计.见:严煦世主编.水和废水技术研究.北京:中国建筑工业出版社,1991.708~720
- 2 王荣和,顾国维.水处理工程CAD的智能设计.见:国家环境保护局编.环境背景值和环境容量研究.北京:科学出版社,1993.423~434
- 3 Buchanan B G, Duda R O. Principals of rule-based expert systems. *Advances in Computers*, 1983, 22: 164~216
- 4 Hayes-Roth F. Overview of knowledge engineering. *Computer*, 1984, 17(9): 11~28
- 5 Zedeh L A. A computational approach to fuzzy quantifiers in natural languages. *Computers and Mathematics*, 1983(9): 149~184

Application of Uncertainty Inference Technology in Expert System of Water and Wastewater Treatment Engineering

Wang Ronghe Liu Suiqing

(School of Environmental Engineering, Tongji University, Shanghai, 200092)

Abstract Based on the analysis of uncertainty of knowledge and evidence, and the analysis of the modification and spread of certainty factor, this paper presents the application techniques of expert system in water and wastewater treatment plants. For making decisions on the engineering design, the details of development of knowledge data base and the structure of the uncertainty inference model are described based on the software WTPES (Water and Wastewater Treatment Process Expert System).

Keywords Expert system; Uncertainty inference model; Certainty factor; Knowledge data base

下期文章
摘要预报

建立在损伤应变空间的岩体破坏准则

凌建明 孙 钧

根据岩体损伤变形过程的耗散能分析,以及岩石和岩体模型的损伤、破坏试验结果,在损伤应变空间建立了一个岩体破坏准则,可方便地用于岩体强度及破坏的预测,而不需附加设定.该准则既适用于脆弹性岩石,也适用于弹塑性岩体,而且对加载和卸荷过程同样有效。