文章编号:1672-058X(2014)12-0018-03

模糊因果图分析方法新探

冯　李
(重庆师范大学 数学学院,重庆 401331)

摘　要:因果图理论是一种基于概率论的不确定性推理模型,能够很有效的对系统进行故障诊断和分析,但在因果图模型中,要求事件的发生概率为精确值。然而在实际生活中事件的发生概率具有模糊性和不确定性的特点。将模糊集合理论引入其中,将普通事件拓展为模糊事件,并且对模糊因果图进行了定性和定量分析,解决了获取事件发生概率精确值的难度,也使得因果图的应用范围更广。

关键词:模糊因果图;模糊事件;故障诊断

中图分类号:TP181　　**文献标志码**:A

因果图是从信度网改进过来的,1994 年张勤教授提出的动态因果图[1](简称因果图)。它是一种基于概率论的图形分析的不确定性知识表达和推理。但是因果图理论的工作主要是对精确的概率值进行计算的,在实际情况中,由于很多原因使得精确的概率值很难获得,并且大量的模糊事件存在,不确定性才是事件的本质。将模糊集合理论引入其中,构成一种更能反映事件本质、更具灵活性和适应性的模糊因果图诊断方法。研究表明模糊因果图可以克服因果图分析中概率难以精确赋值的缺点,将因果图理论应用扩大到模糊领域。

1　因果图推理

因果图推理过程分为 4 个步骤:

(1) 求中间事件的一阶割集(简称 T)表达式。这里割集就是一组事件(包括基本事件、连接事件、中间事件、逻辑门事件)以逻辑与的关系组合构成的,每个割集之间的关系为逻辑或。而一阶割集是只有某事件的相邻的事件和连接事件组成。

(2) 求中间事件的最终割集(简称 CS_S-f)表达式。最终割集是没有中间事件的割集。

(3) 求中间事件的不交化割集(简称 DCS_S-f)表达式。

(4) 计算某中间事件的概率 $P\{X_i\}$或在给定证据 E 条件下,计算感兴趣事件的后验概率 $P\{V|E\}$。

2　模糊因果图的分析

2.1　模糊因果图及其结构函数

因果图是一种利用图形直观表示事物因果关系的知识表示方式。在因果图中,对故障源不再追究原因的事件成为基本事件,其余事件称为中间事件。事件(基本事件或中间事件)记为 V_i($i=1,2,\cdots,n$),然后通过逻辑门(与门和或门)连接成一个网络结构图[2]。一般的因果图中事件 V_i 只考虑失效和正常两种状态,

---

收稿日期:2014-05-20;**修回日期**:2014-06-15.

作者简介:冯李(1989-),男,重庆万州人,硕士研究生,从事因果图研究.

把事件状态定义为

$$w_i = \begin{cases} 1, 当\ V_i\ 发生 \\ 0, 当\ V_i\ 不发生 \end{cases}$$

系统事件的状态用 Φ 来表示,则 Φ 必然是事件状态 $w_i(i=1,2,\cdots,n)$ 的函数:$\Phi=\Phi(w_1,w_2,\cdots,w_n)$。同时

$$\Phi(W) = \begin{cases} 1, 当\ V_i\ 发生 \\ 0, 当\ V_i\ 不发生 \end{cases} \tag{1}$$

式(1)中:$W=(w_1,w_2,\cdots,w_n)$;则 $\Phi(W)$ 称为因果图的结构函数。若事件 $V_1,V_2,\cdots,V_n$ 以"与"关系相联,其结构函数为

$$\Phi(W) = \prod_{i=1}^{n} w_i = \min(w_1,w_2,\cdots,w_n)$$

若事件 $V_1,V_2,\cdots,V_n$ 以:"或"关系相联,其结构函数为

$$\Phi(W) = \sum_{i=1}^{n} w_i = \max(w_1,w_2,\cdots,w_n)$$

生活中失效既有像电路断线、结构件断裂那样的突发失效,又有像零件磨损、部件老化那样逐渐发生的退化失效。对于后者,失效的判定往往是不明确的。对于系统内部存在老化现象,而分析失效时却只考虑系统状态的突变现象,这显然是不全面的。所以引入模糊集合理论。即将所有因果树中的事件模糊化,并给每个模糊事件定义隶属函数 $\mu_i:W\to[0,1]$,表示第 i 个模糊事件发生的程度。部件"完全失效" 时的隶属度为 1, 部件"完好"(即不发生故障) 时的隶属度为 0, 在两者之间有一个连续变化的中介过渡过程。

于是模糊因果图的结构函数可定义为

$$\Psi(W) = \Psi(\mu_1,\mu_2,\cdots,\mu_n) \tag{2}$$

式(2)中,$\mu_1,\mu_2,\cdots,\mu_n$ 分别表示各个部件发生失效或故障的程度, 其中结构函数相应的运算也作相应的改变。

若事件 $V_1,V_2,\cdots,V_n$ 以"与"关系相联,用合取"$\wedge$"代替"×"其结构函数为

$$\Psi(W) = \bigwedge_{i=1}^{n} \mu_i = \min(\mu_1,\mu_2,\cdots,\mu_n)$$

若事件 $V_1,V_2,\cdots,V_n$ 以:"或"关系相联,用析取"$\vee$"代替"+"其结构函数为

$$\Psi(W) = \bigvee_{i=1}^{n} \mu_i = \max(\mu_1,\mu_2,\cdots,\mu_n)$$

可见 $\Psi(W)$ 的取值也由原来的 0、1 变为:$0\leqslant\Psi(W)\leqslant1$。

为事件发生的程度,也是系统的失效程度。另外,还可以凭借专家领域的知识及经验,给事件定义一个阈值 α,通过与 α 的比较, 做出相应的决策。

2.2　基于最小割集的分析法

因果图进行故障分析的目的是要找出使某事件发生的各种可能的事件的组合,这对查明故障的原因,及时排除故障都有非常重要的意义。

最小割集表示导致顶事件发生的最起码的基本事件的集合[3]。设因果图中某一事件 V_i 由 $\{V_1,V_2,\cdots,V_n\}$ 引起故障,若有一子集 $V_{i1},V_{i2},\cdots,V_{il}\subset\{V_1,V_2,\cdots,V_n\}$, $i=1,2,\cdots,k,k,l\leqslant n$。是导致 V_i 发生的最小割集。这里割集数量为 k。一般的最小割集的求法[4]如下:

最小割集结构函数表示为

$$F = C_1 + C_1 + \cdots + C_k$$

C_i 为最小割集,$i=1,2,\cdots,k$,它为 l 个部件的组合,即 $C_i=V_{i1},V_{i2},\cdots,V_{il}$。

例如任意 $F=(V_1+V_2+V_3)(V_1+V_4)(V_3+V_5)$,利用布尔代数运算的相关知识,如分配率和吸收率等就可以化简得到 $F=V_1V_3+V_1V_5+V_3V_4+V_2V_4V_5$,则可以看出 F 是由 4 个逻辑"或"联接的 4 个"与"。

对于事件是模糊事件的情况,事件发生的情况由其隶属函数 μ_i 来衡量。设 μ_A,μ_B,μ_C 分别表示模糊事件 A,B,C 的隶属函数,则:

$$\mu_{A\cap B} = \mu_A \wedge \mu_B = \min\{\mu_A, \mu_B\}$$
$$\mu_{A\cup B} = \mu_A \vee \mu_B = \max\{\mu_A, \mu_B\}$$

模糊事件隶属函数关于∧,∨运算满足交换律、分配率和结合律。即$\mu_A \wedge \mu_B = \mu_B \wedge \mu_A$, $\mu_A \vee \mu_B = \mu_B \vee \mu_A$;$\mu_A \wedge (\mu_B \vee \mu_C) = (\mu_A \wedge \mu_B) \vee (\mu_A \wedge \mu_C)$;$\mu_A \vee (\mu_B \wedge \mu_C) = (\mu_A \vee \mu_B) \wedge (\mu_A \vee \mu_C)$;$(\mu_A \wedge \mu_B) \wedge \mu_C = \mu_A \wedge (\mu_B \wedge \mu_C)$;$(\mu_A \vee \mu_B) \vee \mu_C = \mu_A \vee (\mu_B \vee \mu_C)$.

因此由上面的运算规则,可以得到基于最小割集的模糊因果图法,即模糊因果图的结构函数仍然可以用逻辑表达式表示,例如:

$$F = (\mu_1 \vee \mu_2 \vee \mu_3) \wedge (\mu_1 \vee \mu_4) \wedge (\mu_3 \vee \mu_5)$$

化简得:

$$F = (\mu_1 \wedge \mu_3) \vee (\mu_1 \wedge \mu_5) \vee (\mu_3 \wedge \mu_4) \vee (\mu_2 \wedge \mu_4 \wedge \mu_5)$$

所以,模糊化的因果图与普通因果图在最小割集的求法上基本原理是一致的,但是模糊因果图可以应用更广,对实际生活中遇到的各种故障诊断有更有效得到诊断。使其相关人员做出正确的决策。

3 结 语

因果图推理既可进行故障分析,又可以进行故障诊断,并且还可以进行故障预防等作用。将模糊集合理论用于因果图的分析中,这种模糊因果图的诊断方法克服了因果图分析的不足,是一种简单可行、具有很强的实用性。文献[5]也提出了引入模糊数的模糊因果图,与文中提出的模糊集理论因果图都是为了使因果图的应用范围更广,提升到模糊领域进行故障诊断和分析,更适用于实际生活生产中。

参考文献:

[1] ZHANG Q. Probabilistic Reasoning based on Dynamic Causality Tree/Diagrams[J]. Reliability Engineering and System Safety, 1994,46:212-213

[2] 梁新元,张勤.因果图在故障分析中的应用研究[J].计算机工程与应用,2004,19:186

[3] 梁新元.因果图在重大安全事故分析中的应用[J].计算机工程,2005,31:175

[4] 李葆文.故障诊断逻辑与数学原理[M].广州:广东高等教育出版社,1995

[5] 王洪春,张勤.基于模糊因果图的故障诊断[J].微电子学与计算机,2005,22(6):110

New Exploration on the Analysis of Fuzzy Causality Diagram

FENG Li

(School of Mathematics, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: Causality Diagram Theory is a kind of uncertainty reasoning model based on probability theory and can very much effectively diagnose and analyze the faults of a system, in causality diagram model, however, the occurring probability of an event is required to be accurate value but in practical life, the occurring probability of an event has the feature of fuzziness and uncertainty. This paper introduces fuzzy set theory into the diagram, extends the ordinary events to fuzzy events, furthermore, makes quantitative and qualitative analysis of fuzzy causality diagram, eases the difficulty in getting the accurate value of occurring probability of an event so as to let the application range of the causality diagram wider.

Key words: fuzzy causality diagram; fuzzy event; fault diagnosis

责任编辑:田 静