

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2015.0010.015

# 因果图定性分析法及其在故障诊断中的应用\*

马 超

(重庆师范大学 数学学院,重庆 401331)

**摘 要:**在故障诊断中经常用到因果图分析法,因果图理论是基于信度网(BeliefNetwork)<sup>[1]</sup>上发展起来的,因其完全基于概率论,具有良好的理论基础,对于网络的拓扑结构也没有限制,所以得到了广泛的应用,如故障诊断;定性分析法在故障诊断中有广泛的应用,具体方法有结构重要度系数法、概率重要度以及关键重要度法,主要介绍结构重要度系数法定性分析故障原因,进而采取预防措施。

**关键词:**因果图;结构重要度;故障诊断

**中图分类号:**TP841

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-058X(2015)10-0073-03

## 1 因果图定性分析法

在因果图模型中,导致子节点事件发生的父节点事件有很多,但是不同的父节点的重要度值相差很大,也即是说,在实际故障诊断中,有些父节点事件可能是引起子节点事件发生的重要原因,而有些父节点事件根本不可能发生,或发生的可能性极小。因果图定性分析法就是不考虑个基本事件本身发生的概率大小,或假设各基本事件的发生概率相等的情况下,仅从因果图结构上分析各基本事件对中间事件或顶事件的影响程度。所以因果图的定性分析法,主要是从分析基本事件的结构重要度上入手。

### 1.1 因果图结构重要度系数法

在因果图分析中,分析当某一基本事件发生时引起顶事件发生的情形,说明这一事件的发生对顶事件的发生作一定的贡献。如果因为基本事件的发生而导致顶事件发生的情形越多,说明基本事件对顶事件的发生所做的贡献越多,显然他的重要程度也越大,因此在故障排查中,应当首先予以重视,及时对其采取检查工作以及改进措施。

在因果图中,每个事件都有两种状态,一种是发生,记为  $X_i = 1$ ,一种是不发生,记为  $X_i = 0$ 。各个基本事件在因果图中通过各种逻辑组合构成顶事件发生的不同原因。相应的,顶事件的状态记为  $X = 1$  或  $X = 0$ 。

在某个基本事件  $X_i$  的状态由 0 变为 1 的过程中(其他基本事件的状态保持不变)。顶事件的状态变化分为 3 种情况:

$X = 0 \rightarrow X = 0$  则说明  $X_i$  的发生对顶事件没有起作用; $X = 1 \rightarrow X = 1$  则说明  $X_i$  的发生对顶事件依然没有起作用; $X = 0 \rightarrow X = 1$  则说明  $X_i$  的发生对顶事件发生起作用。

收稿日期:2015-01-25;修回日期:2015-03-26.

\* 基金项目:国家社科基金资助(13BTJ008).

作者简介:马超(1990-),女,内蒙古赤峰人,硕士研究生,从事因果图研究.

在故障诊断中,显然只考虑第 3 种情形。第 3 种情形越多说明  $X_i$  的发生对顶事件的发生起的作用越大。

假设某因果图中有  $n$  个基本事件。现在考虑  $X_i$  的发生对顶事件的发生所作贡献大小。除开  $X_i$  以外还有  $n-1$  个基本事件,记为  $X_j(j=1,2,\dots,i-1,i+1,\dots,n)$ 。状态组合数为  $2^{n-1}$ ,在这  $2^{n-1}$  个状态中,找出共有多少组是第三种情形,然后再与  $2^{n-1}$  作比,得到的比值就是  $X_i$  的结构重要度系数。

在求  $X_i$  的结构重要度系数时,首先利用布尔逻辑运算,求出因果图的最小割集,然后再计算出在  $X_i=1$  时,导致顶事件发生的状态组合数,记为  $S_1$ 。同理,当  $X_i=0$  时,计算出导致顶事件发生的基本事件组合数,记为  $S_0$ ,则仅由  $X_i$  的发生导致顶事件发生的基本事件组合数为  $S=S_1-S_0$ ,所以  $X_i$  的结构重要度系数即为

$$I_{\phi(i)} = \frac{S}{2^{n-1}}$$

## 2 实例分析

图 1 为某故障诊断因果图。

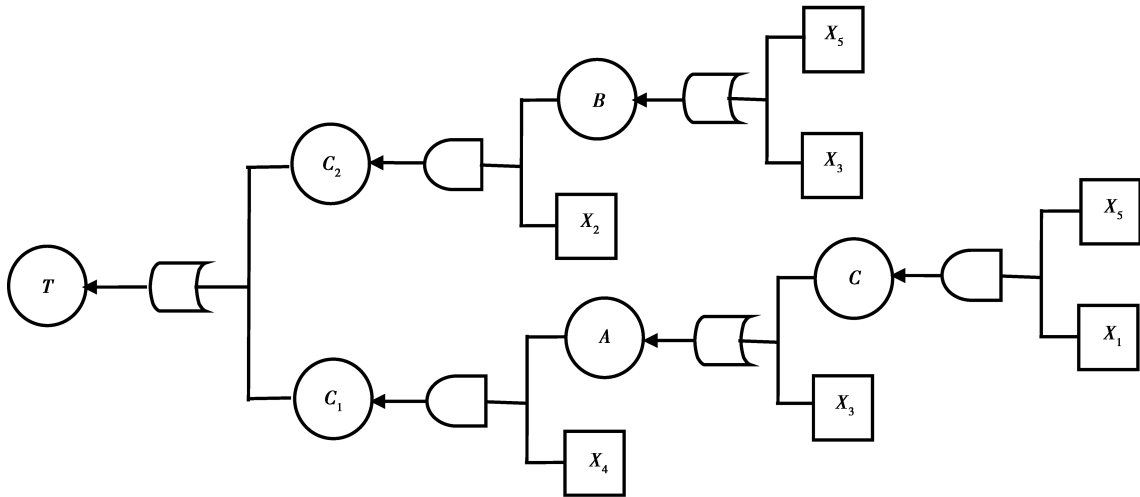


图 1 故障诊断

求  $T$  的最小割集

$$T = C_1 + C_2 = X_4A + X_2B = X_4(X_3 + C) + X_2(X_3 + X_5) = X_4X_3 + X_4X_1X_5 + X_2X_3 + X_2X_5$$

显然,构成顶事件的最小割集有 4 个,分别是  $\{X_4, X_3\}, \{X_4, X_1, X_5\}, \{X_2, X_3\}, \{X_2, X_5\}$ 。考查由于  $X_2$  的发生导致顶事件发生的基本事件组合数。

当  $X_2=1$  时,可分为两种情况,一种情况为  $X_3=1$ ,即  $X_2$  和  $X_3$  构成顶事件的最小割集,则剩下的事件  $X_1, X_4, X_5$  的状态组合数为  $2 \times 2 \times 2 = 8$ 。

另一种情况为当  $X_3=0, X_5=1$  时,  $X_1, X_4$  的状态组合数为  $2 \times 2 = 4$ ,则  $S_1 = 8 + 4 = 12$ 。

当  $X_2=0$  时,计算  $S_0$ ,也可分为两种情况,(1)  $X_4=X_3=1$  时,  $X_1, X_5$  的状态组合数为  $2 \times 2 = 4$ ;(2)  $X_4=X_1=X_5=1, X_3=0$  时也可导致顶事件发生,则  $S_0 = 4 + 1 = 5$ 。所以  $S = S_1 - S_0 = 12 - 5 = 7$ ,则  $I_{\phi(2)} = \frac{S}{2^{n-1}} = \frac{7}{2^4} = \frac{7}{16}$ ,同

理可求出  $X_1, X_3, X_4, X_5$  的结构重要度系数为  $1/16, 7/16, 5/16, 5/16$ 。

所以此因果图中基本事件的结构重要度排序为  $I_{\Phi(2)} = I_{\Phi(3)} > I_{\Phi(4)} = I_{\Phi(5)} > I_{\Phi(1)}$ 。显然  $X_2$  的结构重要度系数最大,因此,它是引起故障的主要原因。

### 3 结 论

利用方法可以精确的求出因果图中基本事件的结构重要度,当因果图结构比较简单时比较适用此种方法,但是当遇到比较复杂的因果图时,求解就变得不那么容易,甚至由计算机来计算也要花很长时间,根据具体问题选取合适的求解方法的必要的。

#### 参考文献:

- [1] 王洪春,石庆喜,张勤.因果图向信度网转化的方法研究[J].计算机仿真,2004,21(10):89-91
- [2] 潘璘玲.最小割集与最小径集在事故树分析中的作用[J].安全与健康,2003(2):31-33
- [3] 汪元辉.安全系统工程[D].天津:天津大学出版社,1999
- [4] 薛永平.事故树中基本事件的重要度即重要度分析[J].山西冶金,2006,29(4):55-56
- [5] 魏春荣,孙建华,张锦鹏.事故树定性分析法及其在矿井安全评价中的应用[J].工业安全与环保,2009,35(9):39-41
- [6] 张勤,樊兴华,黄席樾,等.因果图用于复杂系统故障诊断研究[J].计算机工程与应用,2002(4):43-47
- [7] 梁新元,张勤.基于因果图故障模式重要度的分析方法[J].重庆大学学报:自然科学版,2004,27(8):76-77
- [8] 单亚飞,贾德祥,王树刚.用故障树分析煤矿瓦斯爆炸引起的伤亡事故[J].阜新矿业学院学报:自然科学版,1995,14(2):12-16
- [9] 石庆喜,梁新元,张勤.因果图的一种快速推理方法[J].计算机工程与应用,2005,2(7):19-20
- [10] 王洪春,石庆喜,张勤.基于因果图的一种推理算法[J].微电子学与计算机,2005,22(5):2-3

## Qualitative Analysis of Causal Diagram and Its Application in Fault Diagnosis

MA Chao

(School of Mathematical Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

**Abstract:** Causal diagram analysis is often used in fault diagnosis. Developed from brief network<sup>[1]</sup>, totally based on probability theory, the causal diagram theory with good theoretical basis is a wide range of applications, such as fault diagnosis for there is no limit to network topology. Qualitative analysis is widely applied in fault diagnosis, and specific methods include structure importance coefficient method, the probability of importance and critical degree method. This paper analyzes the cause of fault by structure importance coefficient method, and then takes preventive measures.

**Keywords:** causal diagram; structure importance; fault diagnosis