

随机模糊故障树分析方法及应用

陈海光,程显毅

CHEN Hai-guang, CHENG Xian-yi

江苏大学 计算机科学与通信工程学院,江苏 镇江 212013

Computer Science & Communication Engineering Institute, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China

CHEN Hai-guang, CHENG Xian-yi. Analytical method and application of random fuzzy fault tree. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(27): 229-230.

Abstract: Fault tree analysis on existing models can not solve complex environment of multiple uncertainties, the use of the random fuzzy variables primitive opportunity to propose a random fuzzy fault tree top incident primitive opportunities algorithm. The basic idea of this algorithm is to first go through fuzzy simulation to produce a group of fuzzy numbers which satisfied with the requirement, and then use these fuzzy numbers as parameters carry through random simulation to achieve the primitive opportunity of top event. Finally, examples show that the algorithm in solving the problem of double fuzzy uncertainty than any fault tree algorithm has advantages.

Key words: fault tree; fuzzy; random fuzzy

摘 要: 针对现有故障树分析模型无法解决复杂环境下的多重不确定性问题,利用随机模糊变量的本原机会概念,提出了随机模糊故障树顶事件本原机会的求解算法。该算法的基本思想是先通过模糊模拟产生一组符合要求的模糊数,然后利用这些模糊数做参数进行随机模拟求得顶事件的本原机会。最后,通过实例证明了该算法在解决双重不确定方面比任何模糊故障树算法都有优势。

关键词: 故障树; 模糊; 随机模糊

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.27.073 **文章编号:** 1002-8331(2008)27-0229-02 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP319.4

1 引言

故障树是一种特殊的倒立树状逻辑因果关系图,它用事件符号、逻辑门符号和转移符号描述系统中各种事件之间的因果关系。逻辑门的输入事件是输出事件的“因”,逻辑门的输出事件是输入事件的“果”。

故障树分析是在系统设计过程中通过对可能造成系统失效的各种因素(包括硬件、软件、环境、人为因素)进行分析,画出逻辑框图(失效树),从而确定系统失效原因的各种可能组合方式或其发生概率,已计算系统失效概率,采取相应的纠正措施,以提高系统可靠性的一种设计分析方法。也是以故障树作为模型对系统可靠性进行分析的一种方法^[1]。

2 模糊故障树

模糊故障树就是指底事件是模糊变量的故障树。文献[1]提出了运用模糊集合理论以及用模糊数刻画事件发生的概率,利用模糊算子进行模糊故障树分析等。把模糊集合论引入到故障树分析中,用模糊数刻画事件发生的概率,减小了获取事件发生概率精确值的难度,克服了传统故障树分析中概率难以精确赋值的缺点。同时,充分利用现有的统计数据,在一定程度上允许描述误差的存在,具有较大的灵活性和适应性。这是一种简单而有效的模糊故障树分析方法。

文献[2]提出了一种基于梯形模糊数算术运算的故障树分析方法,阐述了将各种模糊数转换成梯形模糊数的途径,这种模糊故障树分析法不仅能解决传统故障树分析无法解决的基本事件难以精确赋值时的故障分析,并可采用多种模糊数对基本事件进行评价,而且不排斥传统的故障树分析方法。

文献[3-4]利用模糊数学中的扩展原理和 α -截集区间运算,然后利用卷积方法对模糊算子进行改进,并对基于故障树各底事件发生概率为梯形模糊数情形的故障树分析方法做了研究。研究表明,该方法在减小模糊计算中的“扩散性”问题上具有显著效果,在可靠性工程中具有一定的应用前景。应用修正的模糊算子进行模糊故障树分析时,可以较好地克服模糊故障树分析中的“扩散性”大等缺点,同时,计算结果具有很好的可解释性。

文献[5]着重应用模糊算法和非模糊化方法,提出了两种适用范围广、工程性强的故障树模糊分析方法。(1) I型故障树模糊分法,这种分析方法就是根据不同的置信水平,就可获得不同的顶事件发生概率的置信区间。这种故障树模糊分析方法对模糊子集的约束较弱,只要是正规凸模糊集就可以,因而可供选择的隶属函数较多,适用范围广。尽管如此,建议尽量使用三角形或梯形模糊数,这是因为在假设不充分的情况下,它们适合于对硬件故障和人为差错的数据中的不精确性、模糊性和

基金项目:国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60473039)。

作者简介:陈海光(1984-),男,硕士,主要研究方向为计算机应用;程显毅(1956-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为模式识别、计算机应用。

收稿日期:2007-11-12 修回日期:2008-02-19

主观性进行描述且直观上易于工程数据的预处理、评估和评价;(2) II型故障树模糊分析,与 I型故障树模糊分析相比,II型故障树分析中既有用模糊数表示的事件,又有用概率表示的事件,所以最为关键的问题就是模糊数表示的事件与概率表示的事件如何进行并运算和交运算。这里提出的解决思路就是将模糊数转化成一个定量,这样就可以用传统的故障树分析方法进行分析。

文献[7]提出了一种新的 T-S 模糊故障树分析方法,该方法将模糊逻辑和 T-S 模糊模型引入到故障树分析中,使故障树具有处理模糊信息的能力。T-S 模糊故障树分析中不需要精确了解部件的故障概率,也不需要了解故障的机理,从而解决了系统的事件和故障机理的不确定性问题。并提出了用模糊可能性替代故障概率,用模糊数描述事件的故障程度。T-S 模糊门替代故障树中传统的与、或、非门,以描述复杂系统中无法找到部件之间的精确联系,从而得到一种新的故障树分析方法。引入模糊可能性和 T-S 模糊门构造 T-S 模糊故障树,解决了零部件故障概率和系统故障机理的不确定性问题。在对故障的描述中,引入了故障程度的概念,使故障树与实际情况更加吻合。模糊逻辑的引入也为语言等模糊信息的充分应用创造了条件,由于 T-S 模糊故障树不需要大量的故障历史数据,也不需要掌握精确的故障机理,使故障树建立的难度大大降低。

3 随机模糊故障树

将模糊数学及相关理论引入故障树的分析中不仅使故障树分析方法的应用更加广泛,而且可以解决没有大量统计数据时的系统安全的故障树分析问题。但现实世界的复杂程度要远远超过模糊数学所描述的,具有多重不确定性因素。刘宝琮在模糊数学的基础上提出了随机模糊的概念并发展了一套和模糊数学相似的理论。

随机模糊故障树是指底事件是模糊变量的故障树。与传统故障树和模糊故障树相比,随机模糊故障树的底事件具有双重不确定性。这个符合错综复杂的现实世界,具有更广泛的应用性,也是更贴近现实的一种描述。下面分别讨论在两种情况下求随机模糊故障树的算法:

随机模糊变量的本原机会是关于 α 的一个函数,定义为:

$$Ch\{f(\xi) \leq F\}(\alpha) = \sup\{\beta | Cr\{\theta \in \Theta | Pr\{f(\xi(\theta)) \leq F\} \geq \beta\} \geq \alpha\} \quad (1)$$

f 为顶事件的表达式, α 为置信水平, F 是一个常量^[9]。

(1) 当 F 已知时,根据 α 的值来求随机模糊故障树顶事件发生的本原机会。其算法描述为:

步骤 1 进行模糊模拟,分别从 Θ 中均匀产生 θ_k , 并使其满足 $Pos\{\theta_k\} \geq \varepsilon, k=1,2,3,\dots,N$, 其中 ε 是个充分小的正数,并将最小的 $Pos\{\theta_k\}$ 保存到一个数组 $mu[N]$ 中。

步骤 2 根据产生的模糊数进行随机模拟并求出顶事件 P 的目标函数值。

步骤 3 重复步骤 1、步骤 2, N 次。

步骤 4 根据 $mu[N]$, 随机数 α , 以及目标函数值找到满足 $Ch\{f(\xi) \leq F\}(\alpha) > \alpha$ 的最大值 r 。

步骤 5 返回 r 。

(2) 当 α 已知时,根据 F 的值来求随机模糊故障树顶事件发生的本原机会。其算法描述如下:

步骤 1 进行模糊模拟,分别从 Θ 中均匀产生 θ_k , 并使其满足 $Pos\{\theta_k\} \geq \varepsilon, k=1,2,3,\dots,N$, 其中 ε 是个充分小的正数,并将

最小的 $Pos\{\theta_k\}$ 保存到一个数组 $mu[N]$ 中。

步骤 2 根据产生的模糊数进行随机模拟并求出顶事件的目标函数值。

步骤 3 重复步骤 1、步骤 2, N 次。

步骤 4 根据 $mu[N]$, 随机数 F , 给定的 α 以及目标函数值找到满足 $Ch\{f(\xi) \leq F\}(\alpha) > \alpha$ 的最大值 r 。

步骤 5 返回 r 。

4 实例分析

图 1 是一个随机模糊故障树。其中 A, B, C, D, E 都是代表各底事件的寿命,它们全部都是随机模糊变量,服从的分布如下: $A: N(rou_1, 1), rou_1=(1, 2, 3); B: exp(rou_2), rou_2=(2, 3, 4); C: U(rou_3, rou_3+1), rou_3=(3, 4, 5); D: N(rou_4), rou_4=(4, 5, 6); E: exp(rou_5), rou_5=(6, 7, 8)$ 。由本原机会的公式(1)可知:当 F 不变的时候,根据随机产生的 α 来求随机模糊故障树顶事件发生的本原机会。其中, $F=6, \alpha$ 是从 $(0, 1)$ 上产生的随机数,不同的随机数 α 对应着不同的本原机会(图 2)。

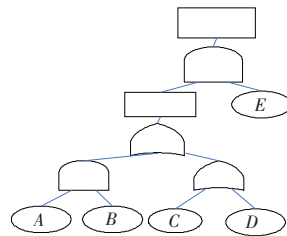


图 1 随机模糊故障树

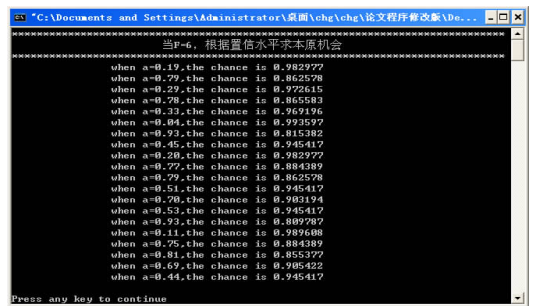


图 2 F 已知求随机模糊故障树顶事件发生的本原机会程序的运行结果

由图 2 可知本原机会 Ch 是关于 α 的减函数,函数曲线图如图 3 所示。

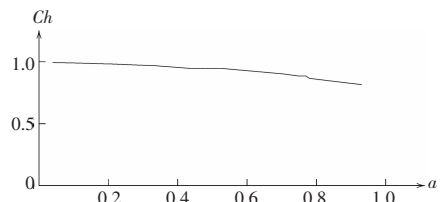


图 3 根据 α 求 Ch 的曲线图

当 α 不变的时候,根据随机产生的 F 来求随机模糊故障树顶事件发生的本原机会。其中, $\alpha=0.9, F$ 是 $(1, 9)$ 上的随机数。同样,不同的随机数 α 对应着不同的本原机会。如图 4 所示。

由图 4 可知本原机会 Ch 是关于 F 的增函数,函数曲线图如图 5 所示。