

基于信息融合的诊断贝叶斯网络研究

宫义山, 高媛媛

(沈阳工业大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110178)

摘要:针对设备故障诊断技术中存在的固有不确定性问题,通过分析传统故障树模型存在的局限性以及传统贝叶斯网络建造困难的特性,提出了一种融合于故障树和传统贝叶斯网络的新方法——诊断贝叶斯网络,并阐述了故障树和贝叶斯网络的故障诊断策略优化方法的基本思想和具体算法。通过比较分析,综合考虑了故障树和贝叶斯网络在诊断推理和模型表达方面的特点及仿真结果,提出的新方法可以使二者优势充分发挥,在故障诊断领域中具有实际的应用价值。

关键词:故障诊断;不确定性;故障树;贝叶斯网络;诊断推理

中图分类号: TP277

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)06-0106-03

Diagnostic Bayesian Networks Research Based on Information Fusion

GONG Yi-shan, GAO Yuan-yuan

(Sch. of Info. Sci. and Eng., Shenyang Univ. of Techn., Shenyang 110178, China)

Abstract: To the intrinsic uncertainty of fault diagnosis, the limitation of traditional method of fault tree and the difficulty to construct traditional Bayesian networks are analyzed, a new method - diagnostic Bayesian networks which combines fault tree and Bayesian networks is proposed. It also expatiated the philosophy and algorithm to fault diagnosis strategy optimization method of fault tree and Bayesian networks. Through the comparative analysis and the integrative consider the characteristic and simulation result of fault tree and Bayesian networks in the diagnosis inference and the model expression. The new method could enable the superiority of them to display fully, it has the actual application value in the fault diagnosis domain.

Key word: fault diagnosis; uncertainty; fault tree; Bayesian networks; diagnosis inference

0 引言

在故障诊断领域中,由于设备的构件之间及构件内部存在很多错综复杂、关联耦合的相互关系,不确定性因素及不确定信息充斥其间,这必然导致故障诊断准确率的降低,因此,设备故障诊断策略优化所面临的主要问题是:如何从不确定、多源异类信息中获得最终的故障原因^[1]。近年来,信息融合技术的发展,为解决故障诊断的不确定性提供了新途径。信息融合的基本原理就像人脑综合处理信息一样,充分利用多源信息,通过对这些信息的合理支配和使用,把多源信息在空间或时间上的冗余或互补依据某种准则来进行组合,使该信息系统由此获得比它的各组成部分的子集所构成的系统更优越的性能,从而得到满意的结果。

在建造故障诊断模型时,常用的是故障树分析法 FTA(Fault Tree Analysis),其建造思想遵守“最小代价”原则,具体目标为:故障的发现率和定位率最高,所用诊断时间最短,搜索成本最低^[2,3]。这种方法在一定程度上满足了故障诊断策略优化的要求,而且故障树有相对较为成熟的建树方法,在设备故障诊断领域中应用广泛。但从总体上看,这种决策模型和方法存在一些局限性,主要表现在:不确定性处理能力有待提高、多源信息表达与融合能力相对较弱。从推理机制和系统状态描述上看,贝叶斯网络(Bayesian Networks, BN)和故障树很相似,但它具有描述事件多态性和故障逻辑关系非确定性的能力,更适合于对复杂系统的故障分析和判断,能更好地描述专家的经验知识,但 BN 的建造涉及知识工程师和领域专家的共同参与,也是 BN 在故障诊断中应用的“瓶颈”。

综上所述,仅使用故障树或贝叶斯网络中任一种方法进行设备的故障诊断都是不理想的,只有综合利用两种方法,互相取长补短才是合理的选择,因此笔

收稿日期:2008-09-03;修回日期:2008-12-26

基金项目:辽宁省博士启动基金资助项目(521101302)

作者简介:宫义山(1964-),男,吉林德惠人,副教授,博士,从事信息融合等方面的研究。

者综合比较分析二者各自特点,将故障树和传统贝叶斯网络方法融合于一体,提出了一种基于信息融合技术的诊断贝叶斯网络模型的建造方法。

1 故障树模型

故障树分析法是一种由果到因、自上而下的逻辑分析方法^[4],其过程可概括为:从结果(即某一故障事件)开始,找出导致该事件发生的直接因素;然后对诸因素分别寻找其各自的直接原因;重复执行该过程,直至对所找到的原因不须再深究其更深层的原因为止,即到达底事件。故障树由三种符号构成:事件符号、逻辑门符号、转移符号^[5,6]。首先选定某一设备故障事件作为顶事件,画在故障树的顶端;再将导致该故障发生的直接原因(各部件故障)并列为第二阶,用适当的事件符号表示,并用适当的逻辑门把它们与系统故障事件连接起来,如此逐级展开,直到把形成设备故障的基本事件分析出来为止,依照此方法分析系统发生故障的各种途径和可靠性特征量。然后对各基本事件赋予先验概率值,就可以应用故障树模型进行可靠性分析以及诊断决策^[7]。

故障树结构图见图 1。

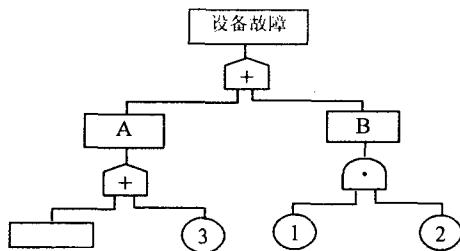


图 1 故障树结构图

2 贝叶斯网络模型

贝叶斯网络是一种基于网络结构的有向图描述,它用具有网络结构的有向图表达各个信息要素之间的关联关系及影响程度,用节点变量表达各个信息要素,用连接节点之间的有向边表达各个信息要素之间的关联关系,用条件概率表来表达各个信息要素之间的影响程度^[8]。

贝叶斯网络是一种不确定性因果关联模型,具有强大的不确定性推理能力,可以有效地进行多源信息表达与融合^[9]。它的这些特性与故障诊断问题具有内在的一致性,适合于表达设备故障诊断问题中复杂的关联关系,适合于多源异类的、不确定性信息条件下的知识表达和推理,而且贝叶斯网络通过实践积累可以随时进行学习改进网络结构和参数,提高故障诊断能力,并且基于网络的概率推理算法,贝叶斯网络接受了

新信息后立即更新网络中的概率信息。目前在故障诊断领域中,诊断贝叶斯网络(Diagnostic Bayesian Networks, DBN)模型的建造是一个非常薄弱的环节^[10]。而 DBN 的建造是其在故障诊断领域应用的关键难题,不解决此问题,贝叶斯网络方法无法在此领域中获得广泛应用。

3 诊断贝叶斯网络模型的建立

首先在 FTA 的 3 个假设条件下进行研究,后面将会去除这些假设条件。当系统中的元件 C 故障时,用 $C=1$ 或简单地用 C 表示;正常时用 $C=0$ 或 \bar{C} 表示。在 DBN 中用对应的变量符号取值((1 或 0)表达故障树表达的元件的状态(故障或正常)。

3.1 基本关系转化

故障树各个事件通过各种逻辑门连接,因此首先讨论各种逻辑门关系的 DBN 表达形式。图 2 分别给出了故障树中逻辑或门、与门、非门和表决门的 DBN 表达形式,显然,这是因果方向 DBN 的建造方式。故障树中基本事件的先验概率在对应 DBN 中表达为父节点的先验概率,条件概率表达式中只给出了子节点

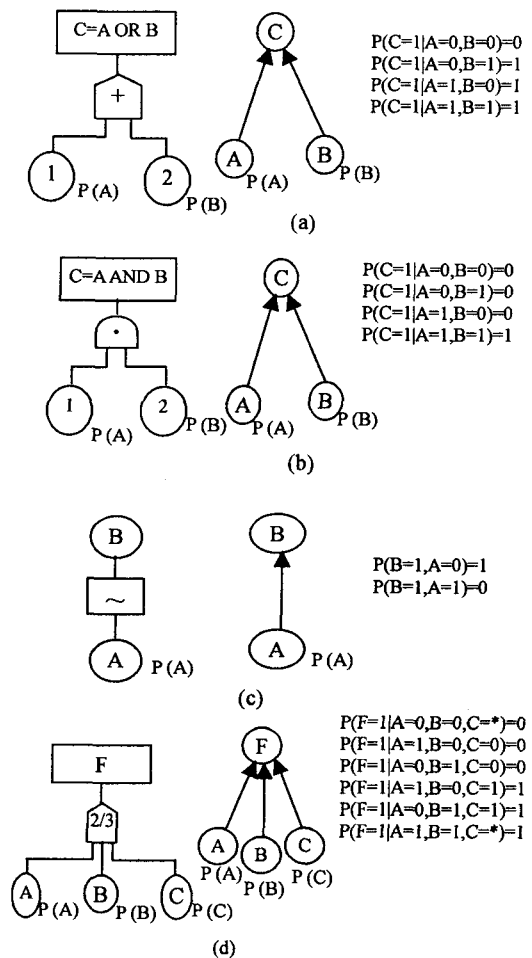


图 2 故障树中基本关系的贝叶斯网络表达

状态值为 1 的条件概率值,因为子节点状态值为 0 和状态值为 1 的条件概率值之和为 1。

图 2 中,(a)或门;(b)与门;(c)非门;(d)2/3 表决门。即(a) OR-gate;(b) AND-gate;(c) NOT-gate;(d) 2/3 (F) gate。从以上基本关系转化中可以看出,故障树中的基本逻辑关系都可以通过改变 DBN 中的条件概率表来实现。也可以将故障树模型转化为诊断方向 DBN,此时,DBN 模型中的有向边方向与图 2 中 DBN 模型中的有向边方向相反,条件概率估计时按照故障树中的基本事件的先验概率给出。例如,图 2(a)中的故障树模型可以转化为如图 3 所示的诊断方向 DBN 模型。

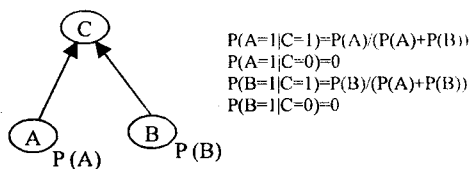


图 3 故障树模型的诊断方向 DBN 模型

3.2 模型转化算法

根据故障树所表达的逻辑关系的因果方向 DBN 模型表达形式,可以获得故障树向 DBN 的转化算法:

(1)将 FT 中的所有基本事件对应表达为 DBN 中的根节点。如果 FT 中的根节点出现多次,在 DBN 中只需要表达为一个根节点。

(2)将 FT 中各个基本事件的先验概率直接赋值给 DBN 中对应的根节点作为其先验概率。

(3)将 FT 中的每个逻辑门都表达为 DBN 中的一个节点,节点标志和状态取值与 FT 中逻辑门的输出事件一致。

(4)按照 FT 中表达的逻辑门与基本事件的关系连接 DBN 中的节点,连接节点的有向边方向与 FT 中逻辑门的输入输出关系对应。

(5)将 FT 中逻辑门逻辑关系表达为 DBN 中对应节点条件概率表。

3.3 操作节点的确定

故障树模型转化为 DBN 模型后,一般需要再定义相应的观测操作节点和维修操作节点。简单的方法是为由故障树基本事件转化而来的每个节点定义相应的观测操作节点和维修操作节点。

4 结束语

诊断贝叶斯网络模型的建造是其应用于故障诊断

领域的“瓶颈”,而用故障树表达故障诊断问题是目前常用的方法。故障树模型可以较好地表达设备故障的层次关系及关联关系,赋予各个事件故障概率后也可以进行诊断策略优化的研究,但故障树模型一旦建造好就不容易更改,而且难于将与故障无关但可以用以诊断故障的相关信息纳入故障诊断过程之中。针对传统 FTA 的局限性以及传统 BN 建造困难的特性,利用信息融合技术的特点,提出了一种基于两者相融合的建设诊断贝叶斯网络模型的新方法,使其体现出 FTA 和 BN 各自的优势,在实际的工程应用中充分发挥作用。

参考文献:

- [1] Bobbin A, Portinale L, Minichino M, et al. Improving the Analysis of Dependable Systems by Mapping Fault Trees into Bayesian Networks [J]. Reliability Engineering and System Safety, 2001, 51(3): 249 - 260.
- [2] Cheng Jie, Bell D, Liu Wei - ru. Learning Bayesian networks from data: An efficient approach based on information - theory [J]. Artificial Intelligence, 2002, 137(2): 43 - 90.
- [3] Lapp S A, Powers G J. Computer - Aided Synthesis of Fault - Tree [J]. Reliability Engineering and System Safety, 1976, 26(4): 2 - 13.
- [4] Doyle S A, Dugan J B, Patterson - Hine A. A Combinatorial Approach to Modeling Imperfect Coverage [J]. IEEE Transactions on Reliability, 2000, 44(1): 87 - 94.
- [5] 宫义山, 赵海, 哈铁军, 等. 多源信息的模糊决策树融合算法研究 [J]. 沈阳工业大学学报, 2006, 28(2): 127 - 131.
- [6] Carpinicmo A, Poucet A. Computer Assisted Fault Tree Construction: A Review of Methods and Concerns [J]. Reliability Engineering and System Safety, 1994, 44(3): 265 - 278.
- [7] Andrews J D, Morgan J M. Application of the Digraph Method of Fault Tree Construction to Process Plant [J]. Reliability Engineering and System Safety, 1986, 36(2): 85 - 106.
- [8] Andrews J D, Brennan G. Application of the Digraph Method of Fault Tree Construction to a Complex Control Configuration [J]. Reliability Engineering and System Safety, 1990, 40(3): 357 - 384.
- [9] 张宏辉, 唐锡宽. 贝叶斯推理网络在大型旋转机械故障诊断中的应用 [J]. 机械科学与技术, 2002, 25(2): 43 - 46.
- [10] Garribba S, Guagnini F, Mussio P. Multiple - valued Logic Trees: Meaning and Prime Implicants [J]. IEEE Transactions on Reliability, 2004, 48(4): 463 - 472.