

基于混合诊断模型的故障分析研究^①

姚 路, 康剑山, 曾 斌

(海军工程大学 管理工程系, 武汉 430033)

摘 要: 混合诊断模型(HDM)是相关性诊断模型的一个扩展, 它将功能模型和故障模式模型建立在一个系统模型中. 本文对混合诊断模型中的诊断推理规则进行了研究, 并提出了基于故障模式和基于功能的混合诊断推理, 同时具体细化为五种不同的推理规则. 同时对混合诊断模型的建模推理过程进行了详细的描述, 明确了功能和故障模式故障率之间的关系. 经过实验证明, 混合诊断模型是一种适合于故障分析的有效模型, 将该模型应用与我们的装备故障分析中是可行、有效的.

关键词: 故障模式; 功能; 故障率; 混合诊断

Research of Fault Analysis Based on the Hybrid Diagnosis Model

YAO Lu, KANG Jian-Shan, ZENG Bin

(Department of Management and Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: Hybrid diagnostic model (HDM) is an extension of diagnostic dependency model, it is a model which makes function and failure mode model into one system model. This paper studied the hybrid diagnostic inference rules in the model, and proposed the hybrid diagnosis reasoning based on the failure mode and function, and the specific divided into five different inference rules. The modeling of hybrid diagnosis model reasoning process has carried on the detailed description, made the relationship between the failure rate function and fault patterns clear. The experiments showed that a hybrid diagnostic model is a kind of effective model is suitable for fault analysis, applying the model to our equipment fault analysis is feasible and effective.

Key words: failure mode; function; failure rate; hybrid diagnostic

近年来, 国外提出了逻辑模型、信息流模型、多信号流图模型、结构模型、混合诊断模型等不同类型的模型. 逻辑模型主要描述功能模块与测试点之间的相关关系, 对故障模式、具体的方法和手段不太关注, 不能反映具体故障模式的相关性. 在信息流模型建模过程中, 建模人员按照故障信息流动方向将故障和测试用有向图连接起来, 这种方法能清晰地表达故障测试关联关系, 但也存在弊端, 例如, 当系统的结构、功能、信号流向复杂时, 其故障模式、故障类型、故障信息流也将变得复杂, 由于只在故障空间和测试空间建模, 信息流模型将与系统的实际结构产生较大的偏差, 这给模型检验带来困难, 这是信息流模型最大的不足.

相关性模型是一种以相关性推理为基础的模型, 按照故障如何被发现的过程来设计故障检测盒隔离的方法^[1,2]. 到了 20 世纪 70 年代, 相关性模型不仅是作为一个诊断技术而得到发展, 同时也发展成为一种对设计的诊断能力进行评估的方法.

美国 DSI 公司于 2000 年提出混合诊断模型 (Hybrid Diagnostic Model, HDM)^[3], 实现了将功能与故障模式在同一相关性模型中统一建模的目标, 并成功应用于 eXpress 中, 该系统在美军装备的测试性设计与诊断工作中得到了广泛应用^[4].

文中首先分析了基于混合诊断模型的诊断推理, 对功能和故障模式的相关关系、功能故障率的计算方法以及功能和故障模式之间的故障率传递关系进行了

^① 收稿时间:2013-07-08;收到修改稿时间:2013-09-02

深入分析. 最后用实验证明了, 混合诊断模型是一种适合于故障分析的有效的模型, 将该模型应用与我们的装备故障分析中是可行、有效的.

1 混合诊断概述

在一个混合诊断模型中, 每个故障模式定义为由以下数据组成:

- 故障模式名称;
- 与故障模式联系在一起的部件故障率的百分数;
- 当故障模式出现, 部件被影响到的功能;
- 故障模式与每一个受影响(一直影响与有时影响)的功能之间的关系.^[5]

注意, 除了列举每个故障模式影响的功能之外, 混合诊断模型还必须指定故障模式与每一个受影响(一直影响与有时影响)的功能之间的关系. 一个故障模式可能一直影响一组功能, 而有的故障模式可能只是有时会影响到一组功能.

根据 HDM, 测试可以被定义以功能、故障模式, 或者两者结合的形式. 当进行分层系统的设计研究, 会非常有用. 在早期的自顶向下的模型中, 测试几乎全部按照功能定义这些功能模型可以反复评价系统的诊断能力, 从而在最有利的时机提供有用的设计反馈信息. 随着设计的不断成熟和实现细节变得可用的, 故障模式可以被添加到低级设计水平的模型中, 按照故障模式定义的测试可以从下至上地继承到较高设计水平.

2 混合诊断推理

一个诊断推理程序必须能够将诊断结论与一个或多个测试关联起来. 然而, 为了支撑 HDM, 一个诊断推理程序还必须能够在故障模式和相关功能之间进行推理. 如果通过推理排除了某些故障, 就可以得到功能完好性的知识, 这些功能是受这些故障影响的. 相反地, 若诊断时证实某功能是完好的, 就可以得到同该功能相关的故障模式的知识.

与 HDM 相关诊断推理规则有五种类型. 虽然每个规则是相对简单, 但当它们在一个分层诊断推理机中一起执行时, 功能就会非常强大. 这些规则可以分为两类, 基于故障模式的诊断推理和基于功能的诊断推理.^[6-7]接下来, 我们将单独看看每个 HDM 推理规则, 使用的组件样本, 如图 1 中描述.

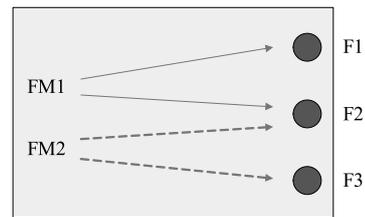


图 1 HDM 组件样本

每个组件有两种故障模式, 三种功能, 每个故障模式影响三种功能中的两种功能. 箭头类型(固体或虚线)表示故障模式和它的受影响的功能之间的关系. 在这里, FM1 总是影响功能 F1 和 F2(实箭头), FM2 有时也会影响 F2 和 F3(虚线箭头).

2.1 基于故障模式混合推理

HDM 推理规则# 1

当发现某故障模式存在故障时, 则由该故障模式直接影响的所有未被证实的功能均可能存在故障;

这个推理规则表明, 当一个功能还没有被证明是正常的, 每当直接影响该功能的故障模式的任何一个可能发生故障时, 我们应该考虑怀疑该功能可能故障. 组件样本, 如图 2 所示.

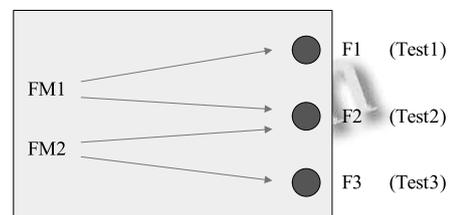


图 2 链式混合推理

这条规则可以表示如下:

FM2 确认故障—F2F3 故障

FM1 确认故障—F1 和 F2 故障

HDM 推理规则# 2

当诊断时, 直接影响某功能的所有故障模式都被排除存在故障, 则可推断该功能是完好的.

这条规则说明了, 一旦所有可以直接影响某功能的故障模式均被排除怀疑, 可以推断出这个功能正常. 不管功能和它的故障模式之间的关系(总是影响, 有时可能会影响), 这个情况都成立. 将该规则应用于我们的组件样本中, 可能得到以下推论:

FM1 被排除故障—F1 完好

FM2 被排除故障—F3 完好

FM1 和 FM2 被排除故障—F1, F2 和 F3 完好

2.2 基于功能的混合诊断推理

HDM 推理规则# 3

当某个功能被确认存在故障时, 那么直接影响该功能的所有未被证实的故障模式都应该被怀疑存在故障;

根据这一推理规则, 如果一个故障模式还没被排除出怀疑, 那么我们可以认为该故障模式影响的功能组中任何一个都是可以怀疑的. 如图 2 中的组件, 得到下面的替代推论:

F2 确认故障—FM1 & FM2 可能故障

F1 确认故障—FM1 可能故障

F3 确认故障—FM2 可能故障

HDM 推理规则# 4

在诊断过程中, 当确认某功能是完好的, 那么一直影响该功能的所有故障模式均应从怀疑中被排除;

这个推理规则表明, 在诊断过程中, 当一个功能不论是被证明或推断出是完好的, 那么一直影响这个功能的故障模式可以排除是故障的. 使用我们的组件样本, 这条规则也有应用如下:

F1 被证明是完好—FM1 可以排除是故障的

F2 被证明是完好—FM1 可以排除是故障的

注意, 当 F2 被证明是完好的, 不能推断出 FM2 是完好的. (因为 FM2 不是一直影响 F2). 出于同样的原因, 这推理规则不适用于, 当 F3 被证明是完好的(因为两个相关的故障模式只时有时影响该功能).

HDM 推理规则# 5

在诊断过程中, 当某个故障模式有时影响的所有功能都被证明是完好的, 那么该故障模式应从怀疑中被排除.

这条规则说明了, 如果一个故障模式有时影响的所有功能被证明或者被推断出是完好的, 那么这个故障模式可以从怀疑中排除.

使用此规则, 下列推理可能适用于我们的组件样本:

F2 和 F3 证明是完好—FM2 可以排除是故障的.

3 功能和故障模式故障率之间的关系

对于一些设计, 在诊断测试中, 将故障模式加入到功能模型中, 可能会导致结果出现差异. 比如测试之前是用于对故障进行检测, 现在可能再也不用了(即

使测试的定义还没有被修改). 这种现象是由链式推理导致的.

接下来讨论组件样本如图 2 所示. 在添加故障模式之前, 该组件将被要求进行三个测试, 来完全诊断所有可能的故障(一个测试一个功能). 然而, 一旦将两种故障模式被添加到模型中, 诊断可能不再需要所有的三个测试. 例如, 如果测试 1 通过, 诊断可以确定, F1 是完好的, 推断出(推理规则# 4)FM1 没有发生. 如果接下来进行测试 3, 诊断会得知 F3 是完好的, 并排除 FM2. 也就是说, 因为两个故障模式都已经被排除, 诊断推理程序应该认识到, F2 确实不需要被测试(规则# 2). 在之前的诊断中是需要进行的测试 2 将不再有必要了. 另一方面, 如果诊断是从测试 2 开始的, 并且测试通过, 两个故障模式都可以被排除(规则# 2), 那么其它的两个测试没有必要进行了(虽然当测试 2 失败时, 他们仍然有必要进行来找出故障).

作为一个故障诊断系统, 它可以获得每个功能和故障模式的数据, 它必须根据这些数据来更新故障率, 从而反应数据的变化. 例如, 如果, 确定一个给定的故障模式没有发生, 那么由它直接影响的功能的故障率都应进行调整, 来反应他们失效可能性的降低. 相反, 如果一个功能在诊断中被证明是完好的, 那么影响该功能的故障模式的故障率应进行调整, 来反应他们发生的可能性的降低.

混合诊断模型经常包含不同的功能和故障模式的可靠性数据. 由于这两种可靠性数据具有不同的来源, 它们之间可能存在冲突. 接下来以图 3 中的样本为例.

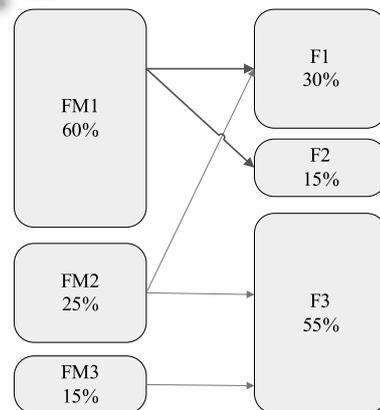


图 3 可靠性数据样本

注意, 对于这个组件, 故障模式 FM1 表示 60% 的组件故障率, 而由该故障模式直接影响的两个功能(F1 和

F2)一起只能表示 45%的组件故障率。另外, FM1 只表示功能 F1 的故障率的一部分, 因为 FM2 也影响该功能。

故障模式均分、故障模式优先和功能优先这三种方法, 可以把故障模式和功能可靠性数据联系起来。

3.1 故障模式均分

当故障率通过故障模式均分进行关联, 功能的可靠性数据是通过均分故障模式概率给所有该故障模式影响的功能来重新计算的(故障模式概率是不变的)。这是三种方法中最简单的, 初始的功能可靠性数据是完全忽略了, 调整后的功能概率是完全来自影响该功能的故障模式。图 4 描述了如果在图 3 中利用故障模式均分调整组件故障率可能得到的相对概率。

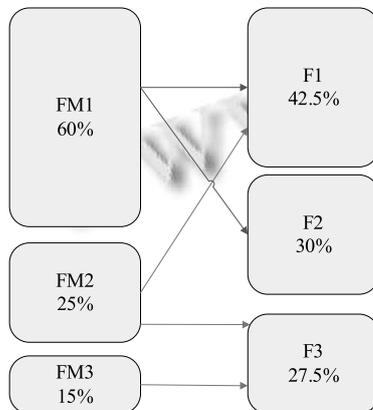


图 4 故障模式均分

故障模式概率被平均分给它影响的功能。因此, 功能 F1 现在分到 42.5%的组件故障概率, 其中 30%来自故障模式 FM1 和 12.5%来自故障模式 FM2。

此方法尤其适用于低级混合模型, 这种模型中的功能可靠性数据还没有被计算出来。然而, 如果一个模型包含功能故障概率, 然后分析人员可能希望采用的其他两种方法, 这两种方法都需要将故障模式和功能故障概率考虑到。

3.2 故障模式优先

当故障模式优先方法用于关联故障率时, 故障模式概率率保持不变, 而功能可靠性值进行调整, 这样它们就可以被映射到影响它们的故障模式的概率。虽然功能可靠性值之间的比例需要考虑, 但是故障模式的可靠性数据仍然是优先考虑的。图 5 描述了如果在图 3 中利用故障模式优先调整组件故障率可能得到的相对概率。

注意, 采用这种方法后, 分配给功能 F3 的故障

概率比采用故障模式均分的大得多(34.89%, 相比于图 5 中 27.5%)。故障模式优先在调整功能故障率的过程中考虑了初始的比率(功能 F3 是开始分配了 55%的故障率)。相反, 功能 F2(原来只有 15%的故障率)被调整为 24.88%。

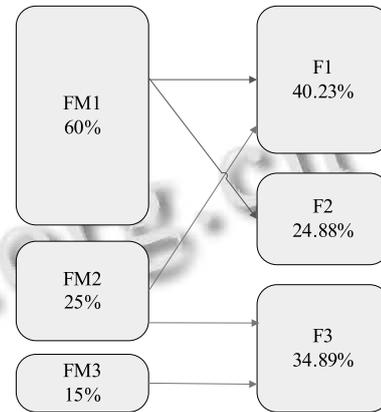


图 5 故障模式优先

我们还发现, 每个故障模式对功能故障率的贡献比率也不同。例如, 故障模式 FM2 只贡献了一小部分的故障率给功能 F1。主要有两个原因。首先, 故障模式 FM2 相对于功能 F1 的另一个贡献者故障模式 FM1, 对整个部长率的贡献只有一小部分。其次, 故障模式 FM2 的故障率大部分分配给了功能 F3, 功能 F3 有一个更高的初始故障比率 55%, 而功能 F1 只有 30%。

故障模式分配可以按以下步骤进行:

- ① 如果有必要, 计算每个功能和故障的初始故障率。
- ② 计算要分配的故障率, 通过分解故障模式影响的功能的初始功能故障率得到(使用每个故障模式的总故障率来确定比例)。
- ③ 对于所有功能都受到同一个已知的故障模式影响时, 计算部分故障率。按照它影响的功能分布的故障率比例重新调节故障率进行计算。
- ④ 计算调整后的功能故障率, 将所有与该功能相关的部分故障率相加得到。

为简单起见, 我们假设, 在图 4、5 和 6 中的组件故障率 100.0(没 100 万小时出现 100 个故障), 初始功能和故障模式的故障率很容易计算出(步骤 1)。接下来, 根据影响该功能的故障模式对功能故障率进行分配(步骤 2), 利用每个故障模式对功能故障率的影响来确定比例。结果如表 1 所示。

表 1 故障模式优先前两步故障率分配结果

功能	影响功能的故障模式	相对百分比	分配的故障率
F1(30.0)	FM1(60.0)	70.59%	21.1765
	FM2(25.0)	29.41%	8.8235
F2(15.0)	FM1(60.0)	100%	15.0
F3(55.0)	FM2(25.0)	62.50%	34.3750
	FM3(15.0)	37.50%	20.6250

基于故障模式 FM1 和 FM2 之间的比例(两个故障模式都可以影响功能 F1), 70.59%的功能故障率分配给故障模式 FM1, 而剩下的 29.41%分配给 FM2. 下一步(步骤 3)是重新调整分配故障率, 将每个故障模式的故障率按照它影响的功能分布的故障率比例重新调节故障率结果表 2 中所示.

表 2 故障模式优先步骤 3 故障率分配结果

故障模式	故障模式影响的功能	分配的故障率	部分故障率
FM1(60.0)	F1	21.1765	35.1220
	F2	15.0000	24.8780
FM2(25.0)	F1	8.8235	5.1064
	F3	34.3750	19.8936
FM3(15.0)	F3	20.6250	15.0000

故障模式 FM1 的分配故障率被重新调整, (21.1765 和 15.0000), 保持了相同的比例, 所以, 他们加起来就是故障模式的故障率 (35.1220+24.8780=60.0). 最后一步将部分故障率加起来得到调整后的功能故障率(表 3).

表 3 故障模式优先调整后的故障率分配结果

功能	影响功能的故障模式	部分故障率	调整后的故障率
F1	FM1	35.1220	40.2284
	FM2	5.1064	
F2	FM1	24.8780	24.8780
F3	FM2	19.8936	34.8936
	FM3	15.0000	

当希望考虑故障模式率比设计的功能故障率更加精确, 同时不想忽略所有关于不同功能之间的相对可靠性模型只是时, 应道适用故障模式优先的方法. 如果比起故障模式率, 更在乎功能可靠性, 那么我们可以此阿勇第三种相关方法, 功能优先.

3.3 功能优先

功能优先, 不像前两种方法不修改功能故障率. 相反, 这种方法是调整故障模式的可靠性值, 这样

他们就可以被映射到它们影响的功能的概率. 尽管考虑了故障模式可靠性数据, 但是仍然是功能故障率优先. 图 6 描述了使用功能优先来调整图 3 中的组件故障率.

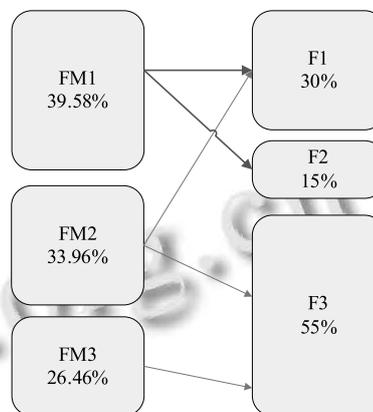


图 6 功能优先

以下步骤可以用来调使用功能优先方法时的故障率:

- ① 如果有必要, 计算每个功能和故障的初始故障率.
- ② 计算要分配的故障率, 通过分解影响功能的故障模式的初始故障模式率得到(使用每个功能的总故障率来确定比例).
- ③ 对于所有故障模式都能影响同一个已知的功能时, 计算部分故障率. 按照它影响的功能分布的故障率比例重新调节故障率进行计算.
- ④ 计算调整后的故障模式率, 将所有与该故障模式相关的部分故障率相加得到.

4 结语

本文主要推基于混合诊断模型的故障分析进行了研究, 并通过实验验证了该方法的可行、有效性. 我们发现这种模型对于我们各类型装备故障诊断系统都有一定的借鉴意义. 下一步将该模型与具体的装备故障诊断系统进行结合, 并进行改进, 来提高我们的装备故障诊断水平, 提升装备保障水平.

参考文献

1 连光耀, 黄考利, 陈建辉, 等. 装备测试设计与维修诊断一体化关键技术研究. 计算机测量与控制, 2007, 15(1): 1-5.

(下转第 213 页)



图 3 检索界面

参考文献

1 Tran T, Cimiano P, Rudolph S, Studer R. Ontology-based interpretation of keywords for semantic search. The Semantic Web, Lecture Notes in Computer Science, 2007, 4825: 523-536.

2 陈叶旺,李海波,余金山.一种基于农业领域本体的语义检索模型.华侨大学学报(自然科学版),2012,(1):33-38.

3 刘宏哲.一种基于本体的句子相似度计算方法.计算机科学,2013,(1):257-2.

(上接第 204 页)

2 Paul D. Logic modeling as a tool for testability. IEEE Autotestcon'85. Long Island, New York. 1985. 1-12.

3 Gould E. Modeling it both ways: hybrid diagnostic modeling and its application to hierarchical system designs. IEEE International Automatic Testing Conference. Orange, CA, USA. 2004. 576-582.

4 张烈刚.军用飞机通用 ATS 体系结构研究.计算机测量与控制,2005,13(4):346-347.

5 连光耀,黄考利,吕晓明,等.基于混合诊断的测试性建模与分析.计算机测量与控制,2008,5(1):601-603.

6 李行善,左毅,孙杰.自动测试系统集成技术.北京:电子工业出版社,2004.

7 高远征,万晓冬,杨春英.机载 ATE 总体技术指标确定方法的研究.计算机测量与控制,2008,16 (3):304-305.

8 Testability Timeline. <http://www.testability.com>. 2007.