



1. 一种基于危害度的车辆故障诊断策略构建方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤一、使用包括危害度因子的启发函数,选择单步最优的测试,并将最优的测试起始位置作为与测试起始节点,对车辆进行相应的测试,通过传感器获取测量结果;

步骤二、根据所述传感器测量结果的输出值,使用故障测试相关性矩阵分解出与该测试输出值相对应的状态集节点作为当前与所述节点相关的枝节点;

步骤三、若枝节点为叶子节点,则标记该枝节点为已解节点,输出故障结果;若枝节点为未解节点,返回步骤一。

2. 根据权利要求1所述的基于危害度的车辆故障诊断策略构建方法,其特征在于,所述包括危害度因子的启发函数表示为:

$$k^* = \arg \max_j \{IG(X^h, t_j) / C(t_j)\}$$

$$IG(X^h; t_j) = H_{j1}(X_{j1}) + H_{j2}(X_{j2}) + \dots + H_{jn}(X_{jn})$$

$$H_{ji}(X_{ji}) = -\frac{\overline{S(X_{ji})}}{S(X)} \log \frac{\overline{S(X_{ji})}}{S(X)}$$

其中, $k^*$ 表示在给定系统故障集时下一步的最佳测试; $n$ 为测试 $t_j$ 输出值个数; $C(t_j)$ 为执行测试 $t_j$ 的费用; $H_{ji}(X_{ji})$ 为故障测试相关性矩阵中与测试 $t_j$ 第 $i$ 个输出结果相关的故障集 $X_{ji}$ 的诊断信息量; $\overline{S(X_{ji})}$ 为故障集 $X_{ji}$ 的修正相对危害度。

3. 根据权利要求2所述的基于危害度的车辆故障诊断策略构建方法,其特征在于,所述修正相对危害度为:

$$\overline{S}_i = \frac{1 + S'_i}{\sum_{i=1}^m (1 + S'_i)}$$

$$S'_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^m S_i}$$

其中, $S_i$ 为故障模式 $f_i$ 单位时间内的危害度, $m$ 为故障模式的数量。

4. 根据权利要求3所述的基于危害度的车辆故障诊断策略构建方法,其特征在于,所述故障测试相关性矩阵为故障-二值测试相关性矩阵。

5. 根据权利要求3所述的基于危害度的车辆故障诊断策略构建方法,其特征在于,所述故障测试相关性矩阵为故障-多值测试相关性矩阵。

6. 根据权利要求3所述的基于危害度的车辆故障诊断策略构建方法,其特征在于,所述故障测试相关性矩阵为可更换单元-测试相关性矩阵。

7. 根据权利要求3所述的基于危害度的车辆故障诊断策略构建方法,其特征在于,故障测试在选定的16种工作模式下进行。

8. 根据权利要求7所述的基于危害度的车辆故障诊断策略构建方法,其特征在于,在选定的工作模式下所述故障测试能够得出测试结论。

## 一种基于危害度的车辆故障诊断策略构建方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及车辆故障诊断技术领域,特别涉及一种基于危害度的车辆故障诊断策略构建方法。

### 背景技术

[0002] 现有诊断策略构建算法本质上是由启发函数和搜索策略组成,启发函数决定了算法的适用范围,而搜索策略决定了得到的诊断策略的优劣程度。现有算法解决了测试可靠的情况下的多值测试、多故障、多回路、多模式、多级维修、面向事后维修和面向全寿命周期的诊断策略优化问题。现有算法不足之处在于:算法的优化目标函数只考虑了测试所耗时间和费用因素,对诊断过程中可能对装备造成的损伤及测试序列造成的负面影响等因素缺乏考虑;在构建诊断策略时,主要基于故障模式的故障概率属性,而实际应用中,当系统测试出现异常报警,依据获得的最优诊断策略推理定位故障时,往往要求对系统危害较高的故障模式能够快速被检测和隔离,即在诊断策略构建时既要考虑故障模式的危害性,又要使构建的诊断策略的中间节点总数越少越好;现有算法的优化目标函数中将概率当权重,实际应用中系统正常的概率占大部分,权重差异大,测试执行费用相同时,选择的平均测试费用最小的诊断树中隔离到指定层级经历的中间节点总数不一定是最低的,而且由于信息熵函数为  $\cap$  型凸函数,系统概率差异较大时,采用基于概率的启发函数寻优得到的单步最优测试只是信息熵最大的测试,区分系统状态不一定最多,不利于减少诊断策略的中间节点总数。

### 发明内容

[0003] 本发明设计开发了一种基于危害度的车辆故障诊断策略构建方法,解决了现有故障诊断方法中诊断节点过多的缺陷,减少了诊断策略中最终的中间节点总数,快速准确的诊断出故障。

[0004] 本发明提供的技术方案为:

[0005] 一种基于危害度的车辆故障诊断策略构建方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤一、使用包括危害度因子的启发函数,选择单步最优的测试,并将最优的测试起始位置作为与测试起始节点,对车辆进行相应的测试,获取传感器测量结果;

[0007] 步骤二、根据所述传感器测量结果的输出值,使用故障测试相关性矩阵分解出与该测试输出值相对应的状态集节点作为当前与所述节点相关的枝节点;

[0008] 步骤三、若枝节点为叶子节点,则标记该枝节点为已解节点,输出故障结果;若枝节点为未解节点,返回步骤一。

[0009] 优选的是,所述包括危害度因子的启发函数表示为:

$$[0010] \quad k^* = \arg \max_j \{IG(X^h, t_j) / C(t_j)\}$$

$$[0011] \quad IG(X^h; t_j) = H_{j1}(X_{j1}) + H_{j2}(X_{j2}) + \dots + H_{jn}(X_{jn})$$

$$[0012] \quad H_{ji}(X_{ji}) = -\frac{\overline{S(X_{ji})}}{\overline{S(X)}} \log \frac{\overline{S(X_{ji})}}{\overline{S(X)}}$$

[0013] 其中,  $k^*$ 表示在给定系统故障集时下一步的最佳测试;  $n$ 为测试  $t_j$  输出值个数;  $C(t_j)$ 为执行测试  $t_j$  的费用;  $H_{ji}(X_{ji})$ 为故障测试相关性矩阵中与测试  $t_j$  第  $i$  个输出结果相关的故障集  $X_{ji}$  的诊断信息量;  $\overline{S(X_{ji})}$ 为故障集  $X_{ji}$  的修正相对危害度。

[0014] 优选的是, 所述修正相对危害度为:

$$[0015] \quad \overline{S}_i = \frac{1 + S_i^t}{\sum_{i=1}^m (1 + S_i^t)}$$

$$[0016] \quad S_i^t = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^m S_i}$$

[0017] 其中,  $S_i$ 为故障模式  $f_i$  单位时间内的危害度,  $m$ 为故障模式的数量。

[0018] 优选的是, 所述故障测试相关性矩阵为故障-二值测试相关性矩阵。

[0019] 优选的是, 所述故障测试相关性矩阵为故障-多值测试相关性矩阵。

[0020] 优选的是, 所述故障测试相关性矩阵为可更换单元-测试相关性矩阵。

[0021] 优选的是, 故障测试在选定的16种工作模式下进行。

[0022] 优选的是, 在选定的工作模式下所述故障测试能够得出测试结论。

[0023] 本发明的有益效果是: 本发明将修正后的相对危害度当权重, 提出的平均测试费用的优化目标函数综合了测试费用、时间及故障模式可能对装备造成的损伤等因素。由目标函数可知, 当测试执行费用相同时, 选择平均测试费用最少的诊断树时, 修正后的相对危害度比概率差异更小(正常状态概率较大), 诊断树中的中间节点总数也更少。本发明提出的基于危害度的诊断策略构建算法中采用的是局部最优搜索策略, 计算结果表明, 与基于概率的贪婪搜索算法相比, 基于危害度的搜索算法中当测试执行费用相同时, 由于修正后的危害度差异更小, 算法得到局部诊断信息量最大的测试往往也是区分故障数量最多的测试, 有利于减少诊断策略中最终的中间节点总数。

## 附图说明

[0024] 图1为本发明所述的基于故障-二值测试相关性矩阵的诊断策略示意图。

[0025] 图2为本发明所述的基于故障-多值测试相关性矩阵的诊断策略示意图。

[0026] 图3为本发明所述的基于可更换单元-测试相关性矩阵的诊断策略示意图。

## 具体实施方式

[0027] 下面结合附图对本发明做进一步的详细说明, 以令本领域技术人员参照说明书文字能够据以实施。

[0028] 本发明提供了一种基于危害度的车辆故障诊断策略构建方法, 首先需要建立车辆故障诊断模型, 用  $F = \{f_0, f_1, \dots, f_m\}$  表示模型中所有故障模式  $f_i$  的集合; 用  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_l\}$  表示模型中所有测试  $t_j$  的集合; 故障模式共有  $m+1$  个, 测试共有  $l$  个, 并且  $0 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq l$

1。

[0029] 对现有诊断策略优化问题的目标函数进行改进,综合测试费用、时间及故障模式可能对测试对象造成的损伤等因素,提出的平均测试费用的优化目标函数,即:

$$[0030] \quad J = \min \left\{ \sum_{i=0}^m \left\{ \sum_{j=1}^{|p_i|} c_{p_{ij}} \right\} \bar{S}(f_i) \right\}$$

[0031] 上式中将系统状态的相对危害度当作状态的权重计算平均测试费用,其中 $p_i$ 为诊断策略中隔离到故障模式 $f_i$ 所执行的测试序列,  $|p_i|$ 为测试数量,  $c_{p_{ij}}$ 为第 $j$ 个测试的执行费用,  $\bar{S}(f_i)$ 为故障模式 $f_i$ 的危害度权重。

[0032] 假定故障模式集 $F = \{f_0, f_1, \dots, f_m\}$ 中故障模式 $f_i$ 单位时间内的危害度为 $S_i$ ,则故障模式的相对危害度为 $S_i'$ :

$$[0033] \quad S_i' = \frac{S_i}{\sum_{i=1}^m S_i}$$

[0034] 实际应用中,为避免当 $S_i = 0$ 时,  $S_i'$ 权重为0,即系统正常时权重为0,对 $S_i'$ 进行修正:

$$[0035] \quad \bar{S}_i = \frac{1 + S_i'}{\sum_{i=1}^m (1 + S_i')}$$

[0036] 指定工作模式下采用的启发函数为 $IG(X^h; t_j)/C(t_j)$ ,表示执行测试 $t_j$ 获得的诊断

$$[0037] \quad k^* = \arg \max_j \{IG(X^h, t_j) / C(t_j)\}$$

[0038]  $IG(X^h; t_j) = H_{j1}(X_{j1}) + H_{j2}(X_{j2}) + \dots + H_{jn}(X_{jn})$

$$[0039] \quad H_{ji}(X_{ji}) = -\frac{\overline{S(X_{ji})}}{S(X)} \log \frac{\overline{S(X_{ji})}}{S(X)}$$

[0040] 式中 $n$ 为测试 $t_j$ 输出值个数,  $n=2$ 时为二值测试,  $n=3$ 时为多值测试,  $C(t_j)$ 为执行测试 $t_j$ 的费用;  $H_{ji}(X_{ji})$ 为故障-测试相关性矩阵中与测试 $t_j$ 第 $i$ 个输出结果相关的状态集 $X_{ji}$ 的诊断信息量。隔离到可更换单元时,  $H_{ji}(X_{ji})$ 表示测试 $t_j$ 第 $i$ 个输出结果相关单元 $X_{ji}$ 的诊断信息量。由于熵是 $\cap$ 型凸函数,且修正后的相对危害度差异比概率更小,当测试执行费用相同时,测试 $t_j$ 输出结果越多,  $H_{ji}(X_{ji})$ 越大,能获得的诊断信息越大,区分的系统状态数也越多。

[0041] 由研究现状分析可知,诊断策略构建算法主要由启发函数和搜索策略构成,诊断策略构建算法可以有多种寻优策略,如单步或多步最优,全局最优搜索策略。提出的基于危害度的启发函数,某一模式下的寻优策略采用单步最优搜索,测试寻优策略为:

[0042] 1)将初始化故障模糊集为 $F = \{f_0, f_1, \dots, f_m\}$ 定义为根节点,即未解节点;

[0043] 2)应用启发函数计算单步最优的测试,将测试作为与节点,然后根据相关性矩阵分解出与该测试输出值相对应的状态集节点作为当前与节点的枝节点,并标记枝节点的与节点,判断当前所有枝节点是否是叶子节点,即状态集不需要再分解;

[0044] 3)若枝节点为叶子节点,则标记该枝节点为已解节点。若所有枝节点均为已解节点,则回溯到根节点时,算法结束;若当前所有枝节点中仍有未解节点,跳转至步骤2)。

[0045] 以二值诊断策略构建为例,首先获取故障-二值测试相关性矩阵

$$[0046] \quad D = \begin{bmatrix} d_{01} & d_{02} & \cdots & d_{0n} \\ d_{11} & d_{12} & \cdots & d_{1n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ d_{m1} & d_{m2} & \cdots & d_{mn} \end{bmatrix}$$

[0047] 上述相关性矩阵中,不同的行表示不同的故障模式 $f_i$ ,不同的列表示不同的测试 $t_j$ ,并且

$$[0048] \quad d_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{测试 } t_j \text{ 可以测到故障模式 } f_i \text{ 的信息} \\ 0 & \text{测试 } t_j \text{ 不能测到故障模式 } f_i \text{ 的信息} \end{cases}$$

[0049] 导出的故障-二值测试相关性矩阵如表1所示。

[0050] 表1

[0051]

诊断结论	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	故障率	概率	危害度
$f_0$	0	0	0	0	0	0	0.7000	0
$f_1$	1	0	0	1	1	0.8147	0.0463	0.8147
$f_2$	1	1	0	1	1	0.9058	0.0515	0.9058
$f_3$	0	1	1	0	1	0.1270	0.0072	0.1270
$f_4$	0	0	0	1	1	0.9134	0.0520	0.9134
[0052]								
$f_5$	0	0	1	0	1	0.6324	0.0360	0.6324
$f_6$	1	0	1	0	1	0.0975	0.0055	0.0975
$f_7$	0	0	1	0	0	0.2785	0.0158	0.2785
$f_8$	0	0	0	1	0	0.5469	0.0311	0.5469
$f_9$	0	0	0	0	1	0.9575	0.0545	0.9575

[0053] 依据表1中的危害度数据,计算得到的系统状态集对应的修正相对危害度为:

$$[0054] \quad \bar{S} = \{0.0909, 0.1050, 0.1065, 0.0931, 0.1067, 0.1018, 0.0926, 0.0957, 0.1003, 0.1074\}$$

[0055] 依据启发函数式,得到各测试启发函数值如下所示:

$$[0056] \quad H = \{0.8862, 0.7212, 0.9603, 0.9807, 0.8648\}$$

[0057] 其中最大值 $\max(IG(X^h; t_j)/C(t_j)) = 0.9807$ ,对应的测试为 $t_4$ ,即选择测试 $t_6$ 作为与节点,依据测试输出结果,将状态集分为通过和不同过两个模糊状态集 $\{f_0, f_3, f_5, f_6, f_7,$

$f_9$ 和 $\{f_1, f_2, f_4, f_8\}$ ,即枝节点。枝节点为未解节点,对枝节点 $\{f_0, f_3, f_5, f_6, f_7, f_9\}$ 应用启发函数,得到 $\max(IG(X^h; t_j)/C(t_j))$ 对应的测试为 $t_3$ 。依次类推得到的基于危害度的诊断策略,如图1所示。在得到诊断策略后,即可按照诊断策略中的测试顺序,对车辆进行测试,对故障集进行隔离,以找到最终故障。

[0058] 在另一实施例中,进行多值诊断策略的构建,获取故障-多值测试相关性矩阵,如表2所示。

[0059] 表2

诊断结论	$t_1$			$t_2$			$t_3$			$t_4$			故障率	概率	危害度
	0	1	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	-1			
$f_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7000	0
[0060] $f_1$	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0.9133	0.0694	0.9133
$f_2$	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0.1524	0.0116	0.1524
$f_3$	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0.8258	0.0628	0.8258
$f_4$	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0.5383	0.0409	0.5383
$f_5$	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0.9961	0.0757	0.9961
$f_6$	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0.0782	0.0059	0.0782
[0061] $f_7$	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0.4427	0.0337	0.4427

[0062] 采用上述分析方法隔离到具体故障模式时,得到基于危害度的诊断策略,如图2所示。

[0063] 在另一实施例中,进行单元诊断策略的构建,获取故障-测试相关性矩阵,如表3所示。

[0064] 表3

诊断结论	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	故障率	概率	危害度	LRU
$f_0$	0	0	0	0	0	0	0	0.7000	0	$U_0$
$f_1$	1	0	1	1	0	1	0.3171	0.0175	0.1586	$U_1$
$f_2$	1	0	1	1	0	1	0.9502	0.0523	0.4751	
$f_3$	1	1	0	0	1	1	0.0344	0.0019	0.0115	
$f_4$	1	1	0	0	1	1	0.4387	0.0241	0.1462	$U_2$
[0065] $f_5$	1	1	0	0	1	1	0.3816	0.0210	0.1272	
$f_6$	1	0	0	0	1	1	0.7655	0.0421	0.7655	$U_3$
$f_7$	1	0	0	1	0	1	0.7952	0.0438	0.7952	$U_4$
$f_8$	1	0	0	0	0	1	0.1869	0.0103	0.1869	$U_5$
$f_9$	0	0	0	0	0	1	0.4898	0.0270	0.1633	
$f_{10}$	0	0	0	0	0	1	0.4456	0.0245	0.1485	$U_6$
$f_{11}$	0	0	0	0	0	1	0.6463	0.0356	0.2154	

[0066] 采用上述分析方法隔离到具体LRU时,  $H_{ji}(X_{ji})$ 表示测试 $t_j$ 第 $i$ 个输出结果对应LRU的诊断信息量,得到基于危害度的诊断策略如图3所示。

[0067] 在进行选定了某一测试时,应该在特定的模式下进行该测试。本发明提供了16中模式,如表4所示。

[0068] 表4

[0069]

模式	直驶 1档	直驶 2档	直驶 3档	直驶 4档	直驶 5档	直驶 6档	直驶 -1档	拖车模式
编号	1	2	3	4	5	6	7	15
模式	转向 1档	转向 2档	转向 3档	转向 4档	转向 5档	转向 6档	转向 -1档	动力输入 分动箱

[0070]

编号	8	9	10	11	12	13	14	16
----	---	---	----	----	----	----	----	----

[0071] 通过上述设置,制定出车辆故障的诊断策略,在进行车辆故障诊断时,按照诊断策略的测试顺序,对车辆进行测试,隔离出部分故障模式,直至找到最终的故障模式。

[0072] 尽管本发明的实施方案已公开如上,但其并不仅仅限于说明书和实施方式中所列运用,它完全可以被适用于各种适合本发明的领域,对于熟悉本领域的人员而言,可容易地



实现另外的修改,因此在不背离权利要求及等同范围所限定的一般概念下,本发明并不限于特定的细节和这里示出与描述的图例。

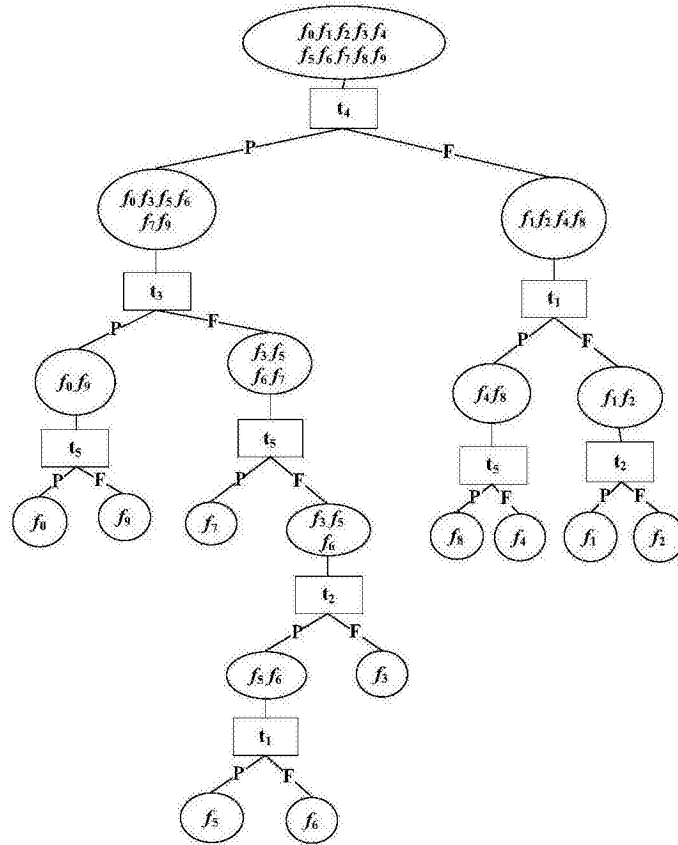


图1

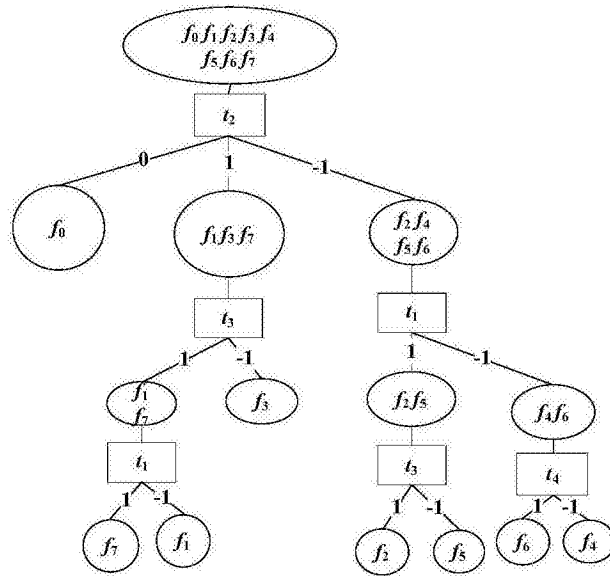


图2

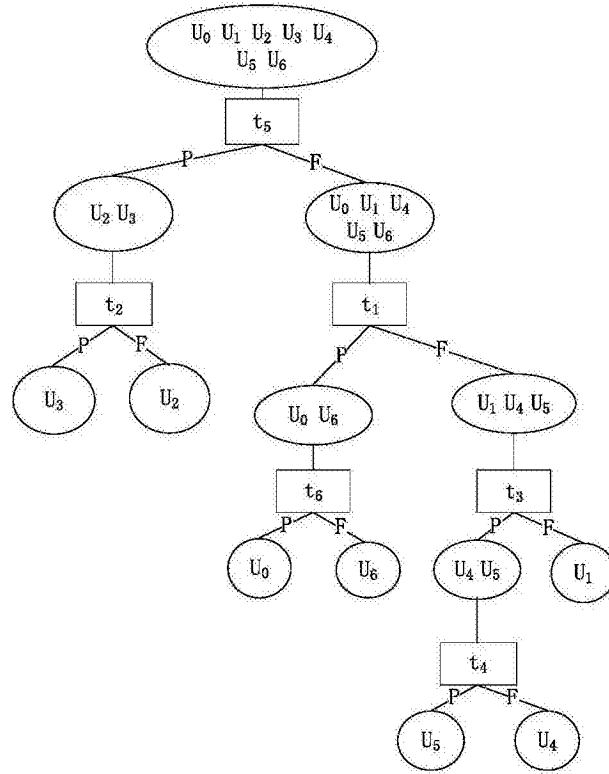


图3