

doi: 10.7690/bgzdh.2014.11.024

基于最大熵的电子装备故障隔离测试点优化方法

赵喜, 胡文华

(军械工程学院电子与光学工程系, 石家庄 050003)

摘要: 针对电子装备维修过程中的故障隔离问题, 提出了一种基于最大熵的测试点优化方法。基于 2 个类中包含的可更换单元数目应尽量相等或数目相差最少的故障隔离测试点优化的基本思路, 用最大熵的理论建立模型, 并以某型雷达接收系统的故障隔离为例对该优化方法进行了验证。分析结果表明: 该方法可大大压缩测试点的数量, 达到降低故障诊断时间, 提高故障诊断、故障排除效率的目的。

关键词: 最大熵; 测试点; 可更换单元; 故障隔离

中图分类号: TJ07 **文献标志码:** A

An Optimization Methods for Electronic Equipment Fault Isolation Test Point Based on Maximum Entropy

Zhao Xi, Hu Wenhua

(Department of Electronic & Optical Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: Due to the fault isolation problems of electronic equipment repair process, put forward a test point optimization method based on maximum entropy. Based on basic principle that renewable unit quantities in 2 categories are equal or similar, use maximum entropy theory to establish model, then take certain type radar receiver system fault isolation as example to verify the optimization method. The analysis method shows that the method can greatly reduce test points, short fault diagnosis time, improve efficiency of fault diagnosis and troubleshooting.

Keywords: maximum entropy; test point; renewable unit; fault isolation

0 引言

测试点 (test point, TP) 是指测量被测试单元 (unit under test, UUT) 状态信息和特征量的位置^[1]。在电信号测量中, 测试点是测量或注入信号的电气连接点。在故障诊断和可测试性设计中, 无论采用机内测试 (built in test, BIT)、自动测试设备 (automatic test equipment, ATE) 或人工测试^[2], 都存在着测试节点的优化选择和设计问题。文献[3]在集成电路的可测性测度的优化方面进行了研究, 在板级电路的测试点优化选择方面主要根据具体的电路和诊断方法确定。文献[4]通过故障树的方法对不同的板级电路测试点进行了优化选择。而现在电子装备电路种类多, 既包括大量的集成电路又包括大量的分离元件, 并且信号类型复杂, 因而, 为了更加合理有效地确定测试点, 安排测试的先后顺序, 提高测试的效率, 笔者提出了一种基于最大熵的测试点优化方法。

1 故障隔离测试点优化的基本思路

在电子装备 (系统) 出现故障后, 一般要将其隔离到可更换单元 (replaceable unit, RU), 以方便维

修。这可利用测试点对各单元故障的反应来完成。同样, 在确定隔离测试点时, 应当使之尽可能隔离所有可更换单元, 且所需测试点最少, 即需要对故障隔离测试点进行优化。

故障隔离测试点优化的基本思路是: 假设系统由 4 个 RU 组成, 逐个分析每个 RU 故障时对各测试点 TP 的影响, 在某点上有反应, 即故障对单元输出有影响表明可在该点检测到故障, 用“1”表示; 无反应, 用“0”表示。图 1 为测试点选取的 2 种典型情况, 图中 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 为 4 个 RU。

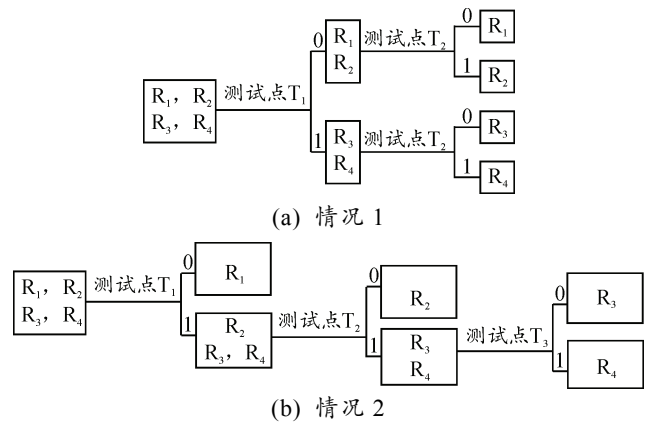


图 1 装备测试点选取的典型情况

收稿日期: 2014-05-20; 修回日期: 2014-06-24

作者简介: 赵喜(1981—), 男, 河北人, 博士, 讲师, 从事信息对抗装备作战运用与运筹分析、雷达及雷达对抗研究。

从图中 2 种测试点 TP 的选取情况可以看出，情况 1 只需 2 个测试点就能达到故障隔离到可更换单元的目的，而情况 2 则需要 3 个测试点才能达到故障隔离的目的。可以推论，要想以最少的测试点达到故障隔离到可更换单元的目的，测试点应具备的特征是：测试点按“0”和“1”的状态对每组可更换单元分为 2 类时，2 个类中包含的可更换单元数目应尽量相等或数目相差最少。故障隔离测试点的优化就是基于这个思想，对冗余的测试点求一组最优的解。

2 基于最大熵的故障隔离测试点优化模型

根据以上故障隔离测试点优化的基本思想，可以用最大熵的理论建立模型。所谓熵^[5]是表示一种不定度(即紊乱程度)，最大熵为最大不定度。

可定义第 i 个测试点的熵为

$$H_i = - \sum_{k=1}^L (P_{i0} \text{Ln} P_{i0} + P_{i1} \text{Ln} P_{i1})_k \quad (1)$$

式中： i 为测试点的编号； P_{i0} 为故障信息表中第 i 个测试点对应的“0”的概率； P_{i1} 为故障信息表中第 i 个测试点对应的“1”的概率； L 为可更换单元(RU)分组数。

故障隔离测试点优化就是使每组可更换单元(RU)内测试点状态“0”的概率(每组 RU 内“0”的个数除以“0”和“1”的总个数)和“1”的概率(每组 RU 内“1”的个数除以“0”和“1”的总个数)尽量相等或相差最少。由熵的有关理论可知，分布越平均，熵就越大。故障隔离测试点优化的基本思想就是使测试点状态“0”和“1”的分布尽量平均，使测试点的熵 H_i 最大，以达到减少故障隔离测试点的目的。

3 应用举例

下面以某型雷达接收系统的故障隔离为例，如图 2 所示，说明测试点最大熵优化方法的应用。

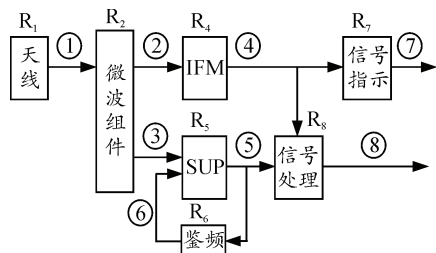


图 2 某型雷达接收系统的初定故障隔离

第 1 步，建立故障信息表。逐个分析每个可更

换单元(RU)故障时对各测试点(TP)的影响，在某点上有反应，即故障对单元输出有影响表明可在该点检测到故障，用“1”表示；无反应用“0”表示。用 R_i 表示第 i 单元故障，各行的“0-1”数码表明了各单元故障时在各测试点上所得到的故障信息，该信息可作为测试点优化的基础，如表 1 所示。

表 1 各测试点上故障信息的“0-1”表示

RU	测试点							
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
R ₁	1	1	1	1	1	1	1	1
R ₂	0	1	1	1	1	1	1	1
R ₄	0	0	0	1	0	0	1	1
R ₅	0	0	0	0	1	1	0	1
R ₆	0	0	0	0	1	1	0	1
R ₇	0	0	0	0	0	0	1	0
R ₈	0	0	0	0	0	0	0	1

第 2 步，确定故障检测用测试点。检测故障用测试点应能检测出所有故障，同时测试点的数量应当尽可能少。从表 1 中可以很容易看出，第③个 TP 可检测到除单元 7 以外的所有 RU 故障，而要检测单元 7 只有用测试点⑦，所以故障检测用测试点包括⑦、⑧ 2 点。

第 3 步，确定故障隔离用测试点。为提高故障隔离分辨能力，达到正确的隔离，应打开反馈回路和分析有多输出方框的具体组成结构。在反馈电路中加 1 个开关，反馈回路被打开^[6]。可把 R₂(微波器件)看成由 2 个并联部件组成的，分开画出。这样，图 2 就变成了如图 3 所示的结构。

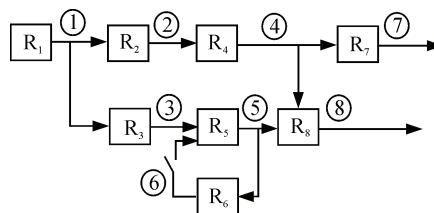


图 3 某型雷达接收系统的故障隔离变换

图 3 中有 8 个测试点，通过这 8 个测试点，各单元故障均可被隔离开来，但不是最优解(测试点的数量比较多)。下面用测试点的最大熵理论求取最优解。

按公式 (1):

$$H_i = - \sum_{k=1}^L (P_{i0} \text{Ln} P_{i0} + P_{i1} \text{Ln} P_{i1})_k$$

计算出 8 个测试点的熵 H_i ，如表 2 所示。

在确定隔离用的测试点时，优先选用步骤 2 中已选定的检测用测试点和熵值最大的测试点。显然，测试点⑦是首先应当选取的，因为它是检测用测试

点且熵值最大(0.693 1)。对选用的测试点用“*”标出。按所选出的测试点的故障信息重新排列故障信

息表：故障反应为“1”的为 1 组，为“0”的为 1 组，重新排列故障信息表，计算熵值，如表 3。

表 2 各测试点上故障信息的“0-1”表示及熵值(1)

RU	测试点							
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦*	⑧
R ₁	1	1	1	1	1	1	1	1
R ₂	0	1	0	1	0	0	1	1
R ₃	0	0	1	0	1	1	0	1
R ₄	0	0	0	1	0	0	1	1
R ₅	0	0	0	0	1	1	0	1
R ₆	0	0	0	0	0	1	0	0
R ₇	0	0	0	0	0	0	1	0
R ₈	0	0	0	0	0	0	0	1
H _i	0.376 8	0.562 3	0.562 3	0.661 6	0.661 6	0.693 1	0.693 1	0.562 3

表 3 各测试点上故障信息的“0-1”表示及熵值(2)

RU	测试点							
	⑦	①	②	③	④	⑤*	⑥	⑧
R ₁	1	1	1	1	1	1	1	1
R ₂	1	0	1	0	1	0	0	1
R ₄	1	0	0	0	1	0	0	1
R ₇	1	0	0	0	0	0	0	0
R ₃	0	0	0	1	0	1	1	1
R ₅	0	0	0	0	0	1	1	1
R ₆	0	0	0	0	0	0	1	0
R ₈	0	0	0	0	0	0	0	1
H _i	0.562 3	0.6931 4	1.124 6	0.562 3	1.255 4	1.124 6	1.124 6	1.124 6

然后按公式(1)重新计算各 TP 的熵并列在表中最下一行。选取熵值最大的第⑤点为又一隔离点。再按第⑤点的反应值为“1”或“0”把各组一分为二，重新排列故障信息表，计算熵值，得到表 4。

表 4 各测试点上故障信息的“0-1”表示及熵值(3)

RU	测试点							
	⑦	⑤	①	②	③	④	⑥	⑧*
R ₁	1	1	1	1	1	1	1	1
R ₂	1	0	0	1	0	1	0	1
R ₄	1	0	0	0	0	1	0	1
R ₇	1	0	0	0	0	0	0	0
R ₃	0	1	0	0	1	0	1	1
R ₅	0	1	0	0	0	0	1	1
R ₆	0	0	0	0	0	0	1	0
R ₈	0	0	0	0	0	0	0	1
H _i	0	0.636 5	0.693 1	0.636 5	0.693 1	1.329 6		

4 组单元中单元 1 是单独的 1 组，即它已经可以被隔离出来，但其他 3 组中各包含 2 个或 3 个可更换单元，故还要继续分组。由表 4 可以看到测试点⑧的熵值最大，故选其为又一故障隔离用测试点，并按其对各单元故障的反应再进行分组，重新排列故障信息表，计算熵值，得到表 5。

表 5 各测试点上故障信息的“0-1”表示及熵值(4)

RU	测试点							
	⑦	⑤	⑧	①	②	③	④	⑥
R ₁	1	1	1	1	1	1	1	1
R ₂	1	0	1	0	1	0	1	0
R ₄	1	0	1	0	0	0	1	0
R ₇	1	0	0	0	0	0	0	0
R ₃	0	1	1	0	0	1	0	1
R ₅	0	1	1	0	0	0	0	1
R ₆	0	0	0	0	0	0	0	1
R ₈	0	0	1	0	0	0	0	0
H _i	0	0.693 1	0.693 1	0	0	0	0	0

从表 5 中可见，没有被选定的测试点 1、4、6 对应的熵值为 0。这样选用 5 个测试点⑦、⑤、⑧、②、③就可以把 8 个单元的故障全部隔离开来(其中，单元 2 与 4 可由测试点②来鉴别，单元 3 与 5 可由测试点③来鉴别)，从而就到了雷达接收系统故障隔离测试点的优化解。测试点由原来的 8 个降为了 5 个，测试点减少，势必会提高故障诊断的效率。

4 结束语

笔者提出了基于最大熵的电子装备故障隔离测试点优化方法。分析结果表明：该方法可以大大压缩测试点的数量，达到降低故障诊断时间，提高故障诊断、故障排除效率的目的，具有一定的实际应用价值。

参考文献：

- [1] 周青龙. 故障诊断与监控[M]. 北京：兵器工业出版社，1992: 8.
- [2] 刘瑾辉, 叶安继, 花兴来, 等. 雷达维修工程学[M]. 武汉：空军雷达学院, 1994: 7.
- [3] 孙秀斌, 陈光禹, 谢永乐. 模拟集成电路的测试节点选择[J]. 电子与信息学报, 2004, 26(4): 645-650.
- [4] 蔡金燕, 陈国通, 张宏伟. 故障诊断中的测试节点优选方法[J]. 军械工程学院学报, 2003, 14(1): 7-10.
- [5] 罗九林, 魏兆磊, 潘洪平. 熵权-集对分析方法在抢修效能评估中的应用[J]. 兵工自动化, 2013, 32(5): 10-12.
- [6] 顾德均. 航空电子装备修理理论与技术[M]. 北京：国防工业出版社, 2001: 2.