

印刷电路板诊断信息流模型及其应用*

李艾华** 张西宁 屈梁生

(第二炮兵工程学院 西安 710025) (西安交通大学 西安 710049)

【摘要】 从故障诊断的角度分析印刷电路板的原理图,建立了电路板的诊断信息流模型。模型反映了试验及试验与故障之间的观察关系。基于该模型讨论了印刷电路板的故障诊断问题,实例说明了模型的有效性,该模型还具有一定的处理多故障的能力。

关键词 印刷电路板; 诊断信息流; 故障诊断; 信息熵

中图分类号 TN407

快速准确诊断复杂系统的前提是深入分析该系统,尤其是针对印刷电路板(PCB)的故障诊断。在开发周期越来越短的趋势下,测试人员在尚未深入分析电路板的情况下便开始了诊断,测试所能依赖的只是电路原理图。原理图难以看懂,不易掌握使用,严重影响了故障诊断的效率。因此,有必要将电路原理图以更明了的形式表示出来。

在PCB生产中,使用检验PCB是否达到设计要求的测试去诊断故障是不科学的,而且测试步骤不能动态调整,诊断效率低。本文从诊断的角度分析电路原理图,使其以更易于故障诊断的形式表示出来,并建立了PCB的诊断信息流模型,基于该模型讨论了PCB的故障诊断问题。

1 印刷电路板的诊断信息流模型

从故障诊断的角度分析PCB原理图,即在设计试验和选择试验步骤时,注重对试验的诊断能力、试验与故障之间及试验与试验之间关系的研究,以求提高诊断的效率。

电路板上主要信息流有数据流和控制流,数据流是指在各功能模块之间传递的信息流,而控制数据流的为控制流。信息流决定了试验间及试验与故障间的观察关系。引用信息流模型的思想^[1],用试验(t_i)和故障(c_j)作为节点,连接节点的有向线段表示节点间的观察关系,这样就构成了PCB的诊断信息流模型。模型的基本元素是试验和故障,模型的目的是便于从试验推出故障。

若试验 t_i 失败时,试验 t_j 也会失败,则称 t_j 可观察到 t_i ;若故障 c_k 成立时,试验 t_j 会失败,则称 t_j 可观察到 c_k 。观察关系包含直接观察关系和间接观察关系。

图1是某光驱PCB的诊断信息流模型,反映了试验间及试验与故障之间的直接观察关系:若 t_i 、 t_j 间存在由 t_i 直接指向 t_j 的有向线段,则称 t_i 可被 t_j 直接观察到;若 c_i 、 t_j 间存在由 c_i 直接指向 t_j 的有向线段,则称 c_i 可被 t_j 直接观察到。

2 诊断信息流模型的矩阵表示

假设试验集合 $T=\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$;故障集合 $F=\{c_1, c_2, \dots, c_m\}$,可用矩阵 D 表示试验及故障间的直接观察关系。 D 由两部分组成:上半部分 $|T|*|T|$ 表示试验与试验间的直接观察关系;下半部分 $|F|*|T|$ 表示故障与试验之间的直接观察关系。在 D 的上半部分, $D_{ij}=1$,表示 t_i 被 t_j 直接观察到;在 D 的下半部分, $D_{ij}=1$,表示 c_i 可被 t_j 直接观察到; $D_{ij}=0$ 表示 t_i 或 c_i 不能被 t_j 直接观察到。与图1对应的 D 的转置如图2a所示。

为找出试验之间及试验与故障之间的间接观察关系,对矩阵 D 作以下处理:先根据逻辑的传递性进行传递蕴含处理,即当 t_i 观察到 t_j , t_j 观察到 t_k 时,则 t_i 也观察到 t_k ;再根据逻辑包含进行

1999年8月31日收稿

* 国家自然科学基金资助项目,基金号:59335093

** 男 32岁 博士 副教授

处理, 即假设有试验 t_x 、 t_y , A 、 B 分别是 t_x 、 t_y 所能观察的故障集合, 若 A 包含 B , 那么 t_x 可观察到 t_y , 图 2b 为处理后获得的最终结果。

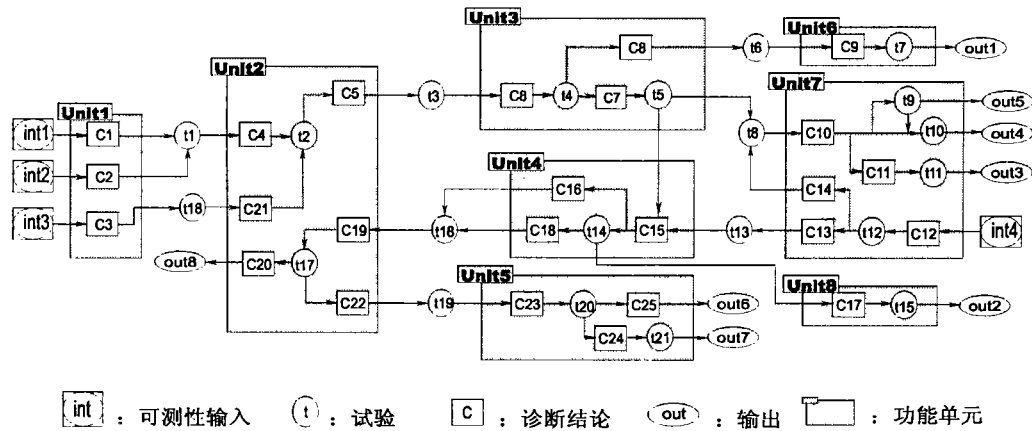
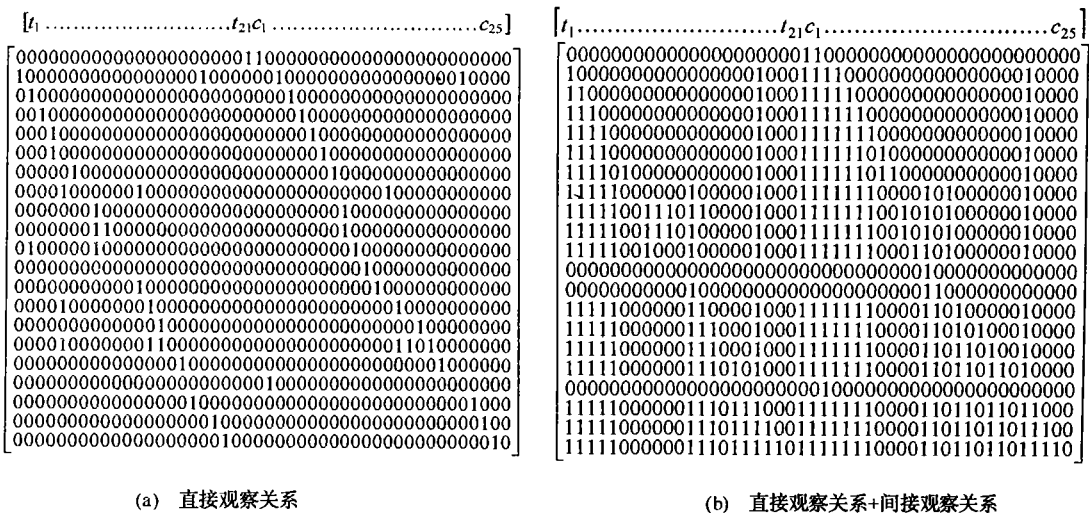


图 1 某光驱印刷电路板诊断信息流模型图



(a) 直接观察关系

(b) 直接观察关系+间接观察关系

图 2 诊断信息流模型矩阵表示

矩阵的行(试验)具有观察列(试验+故障)的能力, 而列具有影响行的能力。例如: 从图 2b 中 D' 的第 8 行可知, t_8 可以观察到 $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_{12}, t_{18}$ 和 $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_{12}, C_{14}, C_{21}$, 即 $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_{12}, t_{18}$ 和 $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_{12}, C_{14}, C_{21}$ 能够影响试验 t_8 。

3 基于诊断信息流模型的电路板故障诊断

3.1 故障集分割

故障诊断过程是对其目标故障集的分割过程。设 F 表示总的故障集, G 表示可能的故障集, H 是不再可能的故障集。显然, $G \cup H = F$, $G \cap H = \emptyset$ 。试验按诊断能力可分为:

1) 可双向推理的试验: 如果从某试验通过和失败得到的诊断结论是互补的, 则称该试验是可双向推理的试验, 否则是非可双向推理的试验。非可双向推理的试验分为可正向推理、负向推理和完全非双向推理三类。

2) 可正向推理的试验: 如果 t_x 通过时, 被 t_x 观察到的故障都不成立, 但 t_x 失败时却无诊断信息可得, 那么 t_x 为可正向推理的。

3) 可负向推理的试验: 如果 t_x 失败时, 不被 t_x 观察到的故障都不成立, 但 t_x 通过时却无诊断信息可得, 那么 t_x 为可负向推理的。完全非双向推理的试验可以分解为一个可正向推理试验和一个可负向推理试验。

基于单故障的假设, 下面列出可用于 PCB 诊断信息流模型的一些推理规则:

规则 1 若 t_x 通过, 且 t_x 不是可负向推理的, 那么 t_x 所观察到的试验都通过。

规则 2 若 t_x 通过, 且 t_x 不是可负向推理的, 那么 F 中被 t_x 观察到的所有故障不再成立, 应属于集合 H 而非 G 。

规则 3 若 t_x 失败, 且 t_x 不是可正向推理的, 那么能够观察 t_x 的试验都会失败。

规则 4 若 t_x 失败, 且 t_x 不是可正向推理的, 那么 F 中不被 t_x 观察到的所有故障不再成立, 应属于集合 H 而非 G 。

规则 5 若 t_x 所能观察到的故障全部包含在当前的集合 H 中, 那么 t_x 将通过。

规则 6 若 t_x 所能观察到的故障的集合与当前的集合 G 相等, 那么 t_x 将失败。

基于以上规则对 G 进行不断的分割, 直到确诊故障。例如: 从 D' 的第 8 行可知, 如果 t_8 通过, 那么故障 $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_{12}, c_{14}, c_{21}$ 将不再是可能的故障, 而应属于 H 集合; 若 t_8 失败, 则试验 t_9, t_{10}, t_{11} 都会失败, 而且 $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_{12}, c_{14}, c_{21}$ 都是可能的故障, 应属于集合 G 。以上规则依赖于单故障假设, 多故障情况在后面讨论。

3.2 基于信息熵的故障搜索

采用一定的故障分割策略, 对故障进行完全诊断所需的不同试验序列构成一棵完整的故障决策树, 叶节点是故障, 中间节点是试验, 这样就将问题转化为优化故障决策树。

从系统状态(故障的概率分布)的角度来分析 PCB 故障决策树的生成^[2]。集合 G 和 H 不断变化, 得到一个状态序列 $\{s_k, k=0, 1, \dots\}$ 。假设电路板的当前状态是 s_k , 试验 t_i 之后其状态变为 s_{k+1} 。电路板在状态 s_k 和 s_{k+1} 下的信息熵分别为

$$H(s_k) = -\sum_j p(c_j | s_k) \log_2 p(c_j | s_k) \quad (1)$$

$$H(s_{k+1}) = H(s_k | t_i) = -p(t_{i, \text{pass}}) \sum_j p(c_j | s_k, t_{i, \text{pass}}) \log_2 p(c_j | s_k, t_{i, \text{pass}}) - p(t_{i, \text{fail}}) \sum_j p(c_j | s_k, t_{i, \text{fail}}) \log_2 p(c_j | s_k, t_{i, \text{fail}}) \quad (2)$$

选择能最大限度地减小电路板状态不确定性的试验, 即在第 k 步(状态 s_k)时, 选择试验 t_j , 只要试验 t_j 满足

$$H(s_k) - H(s_k | t_j) = \max_i \{H(s_k) - H(s_k | t_i)\} \quad (3)$$

在实际应用中, 为利用模型中的逻辑信息来简化信息熵的计算, 选择能够最大限度地减少集合 G 中故障个数的试验。假设试验 t_i 通过或失败时, 可排除的故障数分别为 $n_p(i)$ 、 $n_f(i)$ 。 $n_p(i)$ 为能被 t_i 观察且属于集合 G 的故障的个数; $n_f(i)$ 为不能被 t_i 观察且属于集合 G 的故障的个数。根据博弈论的最小_最大定理^[3], 设 $\theta_i = \min \{n_p(i), n_f(i)\}$, 选择试验 t_j , 使 $\theta_j = \max \{\theta_i\}$ 成立。无论 t_j 结果如何, 总能获得较好而且稳定的优化效果。

在故障诊断过程中自适应地选择下一步试验, 形成优化的动态试验序列。对应图 1 得出的故障决策树如表 1 所示。故障决策树的平均搜索长度为 4.374, 很接近最优值 4.202^[4]。

表1 基于诊断信息流模型生成的故障决策树表(对应图1)

步骤	项目	前面的试验数	试验通过	试验失败	步骤	项目	前面的试验数	试验通过	试验失败
1	t_{15}	0	步骤2	步骤12	11	t_{16}	3	C19	C16,C18
2	t_{21}	1	步骤3	步骤8	12	t_3	1	步骤13	步骤18
3	t_{10}	2	步骤4	步骤7	13	t_5	2	步骤14	步骤17
4	t_7	3	步骤5	步骤6	14	t_{13}	3	步骤15	步骤16
5	t_{11}	4	C20,C25	C11	15	t_{14}	4	C17	C15
6	t_6	4	C9	C8	16	t_{12}	4	C13	C12
7	t_8	3	C10	C14	17	t_4	3	C7	C6
8	t_{17}	2	步骤9	步骤11	18	t_1	2	步骤19	C1,C2
9	t_{19}	3	步骤10	C22	19	t_2	3	C5	步骤20
10	t_{20}	4	C24	C23	20	t_{18}	4	C4,C21	C3

4 印刷电路板的多故障诊断

在实际的PCB诊断中,单故障的假设往往是不现实的,而多故障的复杂性迫使人们对多故障采用了对付单故障的做法^[5]。这种做法具有很大的局限性,例如,假设一电路板存在两个故障 c_i 、 c_j ,且 c_i 是引起 c_j 的根源,那么当仅能诊断、修复 c_j 时,由于 c_j 的根源故障 c_i 依然存在,加电运行时故障 c_j 会再次出现。

定义故障影响向量 VA_{c_i} 。 VA_{c_i} 表示了 c_i 对试验集合的影响,等于矩阵 D' 中 c_i 所对应的列向量。如 $VA_{c_7}=(0,0,0,0,1,0,0,1,1,1,1,0,0,0,1,1,1,1,0,1,1,1)$ 。

基于诊断信息流模型,以双故障 c_i 、 c_j 为例,用 $VA_{c_{i+j}}$ 表示双故障的影响向量,根据多故障的影响向量与单故障的影响向量的关系,可把多故障分为下面三种情况:

$$1) VA_{c_{i+j}} \neq VA_{c_k}, \forall c_k \in F$$

这时 $VA_{c_{i+j}}$ 不同于任何单故障的影响向量。因此,可以把这种多故障当作一新故障加入到故障集中,并将 $VA_{c_{i+j}}$ 作为该故障的影响向量,这类多故障可以在模型中得到解决。

$$2) VA_{c_{i+j}} = VA_{c_k}; k \neq i, k \neq j; c_k \in F$$

这时 $VA_{c_{i+j}}$ 与多故障之外的某个单故障的影响向量相同,可把这类多故障情况称作故障冒充。其行为特征与并没发生的某个单故障相同,容易使人作出错误的诊断。

$$3) VA_{c_{i+j}} = VA_{c_k}; k = i \text{ 或 } k = j$$

这时 $VA_{c_{i+j}}$ 与多故障之内的某个单故障的影响向量相同,可把这类多故障情况称作故障隐藏。其行为特征与实际发生的某个故障相同,容易使诊断出现遗漏,尤其严重的是遗漏了根源故障,目前仍无一个多故障诊断系统能够发现隐藏的根源故障。

针对后两种多故障,根据故障集的影响向量可以计算出所有可能的多故障组合,作为实际诊断时的指导。本文只分析了多故障中比较简单而具有代表性的双故障情况,对于两故障以上的多故障情况同样适用。

5 结论

印刷电路板的诊断信息流模型能清晰地反映试验间及试验与故障间的观察关系。基于该模型,在故障诊断过程中,可同时对故障集和试验集进行分割,提高了PCB故障诊断的效率,同时该模型具有一定的处理多故障的能力。

参 考 文 献

- 1 Dretske F I. Knowledge and the flow of information. Cambridge Massachusetts: The MIT Press, 1982
- 2 屈梁生, 何正嘉. 机械故障诊断学. 上海: 上海科技出版社, 1986: 156~170
- 3 Neumann J Von, Morgenstern O. Theory of games and economic behavior. New Jersey: Princeton University Press, 1944
- 4 Pattipati Krishna R, Alexandridis Mark G. Application of heuristic search and information theory to sequential fault diagnosis. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics, 1990, 20 (4): 872~886
- 5 Kleer Johan de, Williams B C. Diagnosing multiple faults. Artificial Intelligence, 1987, 32: 97~130

Diagnostic Information Flow Model of Printed Circuit Boards and Applications

Li Aihua

Zhang Xining Qu Liangsheng

(The Engineering Institute of Second Artillery Xi'an 710025) (Xi'an Jiaotong University Xi'an 710049)

Abstract The schematic diagram of PCBs (printed circuit boards) is analyzed based on fault diagnosis, and the diagnostic information flow model (DIFM) of PCBs is built. The observing relations between tests and faults are emphasized and described clearly with DIFM. Based on DIFM, fault diagnosis of PCBs is studied, and efficiency of the model is verified. Moreover, DIFM also can be used for handling with some multiple faults.

Key words printed circuit boards; diagnostic information flow; fault diagnosis; information entropy

· 科研成果介绍 ·

长周期跳频编码及强纠错编码技术研究

主研人员: 雷鸣 严梅 樊龙飞 查光明 李仲令 姜山 符初生

长周期码跳频控制器系统采用高速数字信号处理芯片 TMS320C25 实现, 用经过筛选的非线性钟控码作为跳频图案控制码, 保证了跳频图案良好的互相关性、自相关和均匀性。强纠错编译码器由 RS 码、卷积码组成级联的差错控制编译码, 并结合交织、反交织技术, 形成了强纠错编译码器, 对于随机误码及突发误码都有极强的抑制能力, 可自适应地工作在 0~9.6 kb/s 的信息速率上。因此可使用在大多数中低速、对数传误码指标要求高的场合, 在军事、金融、民航、抗灾抢险等领域都可得到广泛应用。

· 科 下 ·