

基于总线观测的微机故障诊断专家系统研究^{*}

王厚军^{**} 陈相富 陈光^禔

(电子科技大学自动化系 成都 610054)

【摘要】 采用与或树、产生式规则和 DBMS 相结合的知识表示方法建立专家系统。论述了基于总线观测的知识获取与诊断方法,提出了基于总线观测的可测性分析方法和故障信息的相关性分析方法。该方法为总线测试信息的有效性及其故障搜索策略的生成与优化提供了分析和判断依据,使系统有较高的推理效率和诊断分辨率。

关键词 故障诊断; 专家系统; 在线测试; 可测性

中图分类号 TN407; TP11

由于计算机系统在功能和结构上的灵活性和复杂性,使得对其故障的诊断和定位变得非常困难。目前在大规模数字集成电路测试方面的成果还很难用于计算机系统的故障诊断情况下,更多的还是依赖于人的诊断知识。而利用基于知识的专家系统进行复杂诊断问题的求解已被证明是行之有效的^[1,2],但这种方法的难点在于知识的表示和知识的获取。本文阐述的诊断专家系统采用了与或树和产生式规则相结合的知识表示方法,而在知识库结构上采用了 DBMS 存储结构,使系统可以容易地实现正反混合推理和多种搜索控制策略,避免了产生式规则方法带来的推理效率随知识库增加而下降的缺点,同时也使系统知识库便于维护。另外,相对于计算机系统可能的故障原因来讲,人可以直接观察到的故障现象是非常有限的,这点直接影响着诊断的分辨率。在本系统中,采用了基于总线观测的诊断方法,将多路数据采集系统在计算机各级总线上观测到的故障信息作为诊断依据,进而提高诊断分辨率。该方法的核心是总线信息的故障可测性和相关性分析,它为总线测试信息的有效性及其故障搜索策略的生成与优化提供了分析和判断依据。

1 知识表示

1.1 知识的逻辑结构

计算机故障诊断过程中,诊断专家通常是首先利用某一故障现象确定故障大体部位,故障可能有一个或多个,也可能非常具体或比较模糊;再利用其他故障现象进一步优化以后才进行诊断推理,得出可能原因成立与不成立的结论,然后利用成立的原因依次下推,根据不成立的原因逆向判断原有的可能原因是否确实可能存在,直到找出最后结论。

我们将诊断知识采用与或树的逻辑表示

$$A = P(b_1, b_2, b_3, \dots) \quad (1)$$

$$B = Q(a_1, a_2, a_3, \dots) \quad (2)$$

其中 P, Q 为或、与映射关系, A, a_i, B, b_i 为故障现象或结论。 $A = P(b_1, b_2, b_3, \dots)$ 表示如果存

在故障 A , 则可能的原因为 b_1, b_2, b_3, \dots , 可以表示为

$$A = b_1 \vee b_2 \vee b_3 \vee \dots \quad (3)$$

$B = Q(a_1, a_2, a_3, \dots)$ 表示如果 B 出现故障, 则必导致 a_1, a_2, a_3, \dots 故障现象, 可以表示为

$$B = a_1 \wedge a_2 \wedge a_3 \wedge \dots \quad (4)$$

根据式(3)和摩根定理有

$$\bar{A} = \bar{b}_1 \wedge \bar{b}_2 \wedge \bar{b}_3 \wedge \dots \quad (5)$$

由式(5)得出, 当故障现象 A 不成立 (A 代表的部件工作正常), 则 b_1, b_2, b_3 都不成立。

同理, 根据式(4)和摩根定理有

$$\bar{B} = \bar{a}_1 \vee \bar{a}_2 \vee \bar{a}_3 \vee \dots \quad (6)$$

式(6)表示当故障原因 B 不成立, 则 a_1, a_2, a_3, \dots 有一种现象不成立。

由比较发现, 式(3)与式(6)等效。这说明, 所有故障知识都可以由式(3)、(4)统一表示, 不管该故障现象或原因是否成立, 都可以在正向、反向推理中加以应用。

1.2 知识的物理结构

随着专家系统的应用, 其知识库的内容逐渐增加, 规模逐渐扩大, 这要求尽快从结构上减少数据搜索的时间。

常用的数据库管理系统(DBMS)在存储搜索、索引等方面有可取之处, 但也存在一定缺陷。主要是管理系统的资源要求和系统资源开销较大, 并且完全封装, 其命令的功能和数目固定, 不易扩充。因此我们在知识库结构上采用 DBMS 的存储结构, 专门开发了一套适合本专家系统知识模型建立和维护的环境。为减少搜索时间, 数据库采用定长记录并增加索引。知识库结构如图 1 所示。

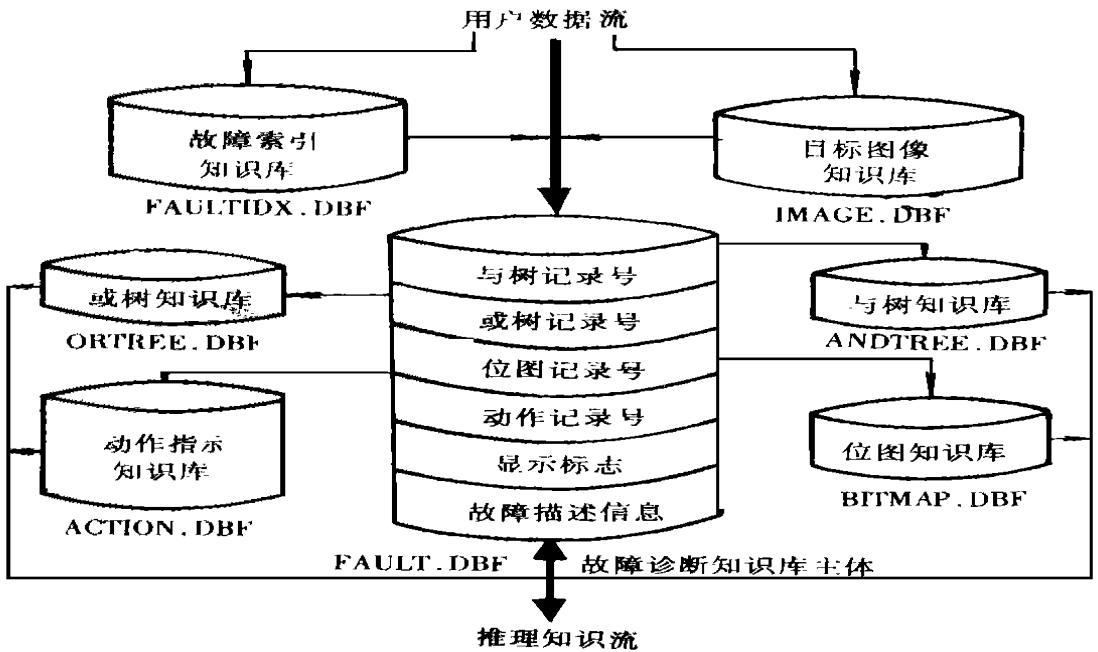


图 1 微机故障诊断专家系统知识库结构

2 基于总线观测的故障诊断方法

该方法思路是基于“运行即测试”的概念,利用计算机驻机程序在总线上产生的数据流,用多路多功能数据采集系统对其限定跟踪,捕获并分析运行模型,然后通过总线故障信息的识别、推理,逐步跟踪缩小故障的范围,直至确定故障部位。主要包括观测模型建立分析,可测性与相关性分析。

2.1 基于分层总线观测的系统描述及在线测试

利用总线观测方法首先需要解决的问题是系统结构和观测模型建立,其一是CPU总线功能分类,如地址、数据和控制线(包括数据地址有效、读写定时、复位、中断、等待、总线仲裁等)以及几种典型的总线操作时序过程定义,如MEM读写过程定义、DMA过程定义、中断过程定义等等,而实际总线数据流是这些基本过程的组合。另外由于时序控制和驱动需要,微机系统总线常常分为几层,仅仅通过CPU总线模型分析常常无法将故障定位到元件一级,因此,对系统观测应该是分层进行的,在这里通常按微机系统构成形式将其分为三级总线。第一级是CPU总线,它是具有最高共享级别的总线。第二级总线是扩展总线,它通常可满足各类外围器件存储器的操作,因此,其定义往往有较好的一致性。第三级总线是器件级总线,它具有最多的结构信息。第三级总线模型的建立在很大程度上取决于对系统及各器件功能的了解程度。

总线模型建立一方面可增强系统对被诊断对象的描述能力,另一方面从系统运行机理出发可有效地利用和解释专家诊断知识。

2.2 基于总线观测的系统可测性分析方法研究

利用驻机程序的运行作为测试矢量,固然增加了诊断的通用性,但由于省去了测试生成,总线数据流中包含大量的冗余测试信息,另一方面,由于受到硬件的约束,数据采集系统的存储深度是有一定限度的。如不加选择地采集总线数据流,其观测效率将非常低。因此分析总线可测性,选择总线数据采集方式,使一次观测获得尽可能多的对系统各部分的有效测试及响应信息,对总线观测诊断方法来说是至关重要的。

从CPU总线及扩展总线上看,设系统可分为 B_1, B_2, \dots, B_n 个部分。总线上数据流是系统各部分功能的实际体现。从总线上观测到的有关 B_1, B_2, \dots, B_n 的信息通常反映为一种状态信息,这种状态信息直接体现着该部分功能的正常与否,据此我们提出了一种基于微机各组成部分状态变迁的功能级可测性分析方法,该方法基本思想如下:设被测系统某一部分可能状态集合为 $\{Q_{B_i}^1, Q_{B_i}^2, \dots, Q_{B_i}^K\}$ 。 B_i 状态在CPU及总线测试矢量作用下,随时间发生变迁,而这种变迁的概率分布反映了该部分功能的总线可测性。

类似于Jack.E. Stephenson和L.H. Goldstein测度分析^[3],我们将可测性分析分为可控性与可观测性两部分,分别表示对某部分状态变迁以及这种变迁能够被有效观测到的难易程度。

设 B_i 在测试矢量作用下,处于状态 $\{Q_{B_i}^1, Q_{B_i}^2, \dots, Q_{B_i}^K\}$ 的概率分布分别为 P_1, P_2, \dots, P_K 。 B_i 部分的可控性是指加在原始输入端测试矢量对 B_i 的各状态值控制的难易程度。显然,当上述概率分布为均匀分布,即 $P_1 = P_2 = \dots = P_K = \frac{1}{K}$ 时,该部分具有最佳的可控性。基于上述分析我们将可控性测试定义如下:

B_i 的可控性测度:

$$C(B_i) = \sum_{j=1}^K \left| P_j - \frac{1}{K} \right| \quad (7)$$

显然 $C(B_i)$ 满足 $0 \leq C(B_i) < 2$ (证明略), 且有:

- 1) $|C(B_i)|$ 越小, 取 $Q_{B_i}^1, Q_{B_i}^2, \dots, Q_{B_i}^K$ 的概率差越小, B_i 的状态越容易控制。
- 2) $|C(B_i)|$ 越大, 取 $Q_{B_i}^1, Q_{B_i}^2, \dots, Q_{B_i}^K$ 的概率差越大, B_i 的状态越难以控制。
- 3) 若 $P_j - \frac{1}{K} < 0 (j=1, \dots, K)$, 则可认为 B_i 取状态值 $Q_{B_i}^j$ 难以控制, 而 $P_j - \frac{1}{K} > 0$, 则 B_i 取状态值 $Q_{B_i}^j$ 易于控制。
- 4) 对系统测试矢量直接施加部分, 则认为状态值可任意选取, 故其可控性测度为 0。

可测性测度的定义为: 以系统总线 Z 为各部分 B_1, B_2, \dots, B_n 状态输出观测点, 在测试矢量作用下, 导致出现错误状态变迁后, 能将变迁状态敏化或传送到总线上的难易程度。我们将这种可测性表示为在 B_i 状态变化条件下, 对 B_i 的观测也发生变化的条件概率, 即

$$O(B_i) = P\{\Delta Z \neq 0 / \Delta B_i \neq 0\} \quad (8)$$

显然

- 1) $O(B_i)$ 越大, B_i 的总线可观测性越好, 反之则越差;
- 2) 对观测线 Z 本身, 其可观测性测度为 $O(Z) = P\{\Delta Z \neq 0 / \Delta B_i \neq 0\} = 1$;
- 3) $O(B_i)$ 是在 $[0, 1]$ 区间的实函数。

下面讨论总线故障信息相关性分析。一般来说, 发现一个微机系统有故障并不难, 但要从故障现象中推断出一点或哪一部分的故障却很不容易。因为微机系统内部各部分在结构和功能执行上是密切相关的, 而信息的相关性导致了故障的相关性, 从而使故障的确定和区分变得相当困难。

从总线观测环境出发, 我们将相关性分为总线通路之间的故障相关性和系统各部件功能之间的故障相关性。另外, 根据相关性对故障判断产生的影响, 我们将之分为超前相关和滞后相关两种, 这里简要分析一下通路之间的故障相关性。

定义 1 在微机总线观测中, 如某一条信息通路 A 出现故障 S , 而在另一条通路 B 上首先或与 A 通路同时观测到故障现象, 则称 B 通路对 A 通路是 S 故障超前相关的, 否则称 B 通路对 A 通路是 S 故障滞后相关的。

故障相关性符合传递律, 即如果通路 A 对通路 B 故障是超前相关的, 通路 B 又对通路 C 故障是超前相关的, 则通路 A 对通路 C 故障也是超前相关的 (证明略)。

在实际应用中, 只有超前相关型故障容易导致错误的诊断方向。为了衡量总线每条通路之间的相关性, 我们给每条通路赋予一个相关系数, 定义如下。

定义 2 设总线由 n 条通路 C_1, C_2, \dots, C_n 组成, 如其中某通路 $C_i (i=1, 2, \dots, n)$ 对 C_j 故障 ($j=1, 2, \dots, n$) 是超前相关的, 则 C_i 对 C_j 的相关系数 $R_{ij} = 1$, 否则 $R_{ij} = 0$ 。

通路 C_i 具有总线超前相关系数 $R(C_i)$ 为

$$R(C_i) = \frac{\sum_{i,j=1}^n R_{ij}}{n} \quad (9)$$

显然

$$0 < R(C_i) \leq 1$$

通路相关系数的大小反映了当该通路出现故障信息后, 可能故障源的多少, 相关系数大则说明该通路故障信息汇集率高, 可能的故障范围也较宽, 因而故障定位也较困难, 而相关系数小, 则说明故障源较单一, 易于故障搜索定位。

故障相关性分析可使诊断系统从总线观测到的故障信息中推测出所有可能的故障原因和部位, 从而为下阶段的诊断策略, 如下级观测总线的选择或追踪测试与推理提供依据, 可有效地避免

误诊或漏诊情况的出现。

3 结 论

计算机的广泛应用和 VLSI 技术的发展, 使传统的数字系统故障诊断方法变得越来越难以适应了, 从而导致了使用与维护问题的日益突出。本项研究基于总线观测的方法, 利用“运行即测试”的观点, 省去了极为复杂的测试生成过程, 结合专家系统方法使建立的诊断系统具有非常好的实用性。在该诊断专家系统建立过程中, 我们针对常用 PC 机建立了 800 余条诊断知识的知识库。经测试表明, 系统故障诊断的推理效率较高, 对 PC 机主板的硬故障分辨率可达元件级, 并且知识库易于扩充和维护。该系统目前已通过了技术鉴定, 正在做进一步的推广应用。

参 考 文 献

- 1 Hayes-Roth F. Building expert systems reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1983
- 2 黄可鸣. 专家系统. 南京: 东南大学出版社, 1991
- 3 陈光福, 张世箕. 数据域测试与仪器. 北京: 电子工业出版社, 1994
- 4 王厚军, 陈光福. 故障诊断的高级模型方法与人工智能的应用. 电子测量与仪器学报, 1990, 4(4): 20~27
- 5 王厚军. 基于总线观测的数字系统故障模型知识描述方法研究及其在诊断系统中的应用. [学位论文]. 成都: 电子科技大学, 1991
- 6 Scott Davidson. Software tools for hardware test. IEEE Trans On Computer, 1989, 6(4): 239~241
- 7 Hartley R I. CRIB, computer fault-find through knowledge engineering. IEEE Trans on Computer, 1984, 9(6): 431~434
- 8 张 钻, 陈廷槐. 数字电路功能级上的可测性设计. 计算机工程, 1985, 3: 11~18
- 9 Chan. John C. A study of faulty signature for diagnostic. IEEE International Symposium on Circuit and Systems, 1990, 4: 2701~2704
- 10 林尧瑞, 戴大为, 麦卓文. 自动推理引论及其应用. 武汉: 武汉大学出版社, 1987

Microcomputer Fault Diagnosis Expert System Based on Bus Observation

Wang Houjun Chen Xiangfu Chen Guangju

(Dept. of Automation, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract The knowledge presentation of the combination of the AND/ OR tree and production rule is applied in the expert system. A knowledge acquisition and diagnosis method based on the bus observation are described in this paper. The analysis of the testability of the bus information and the relativity of the fault information is given, which provides the validity criterion for the diagnosis method based on the bus observation. The test results demonstrate that the expert system is quite good in the inference efficiency and diagnostic resolution.

Key words faulty diagnosis; expert system; on-line test; testability

编辑 徐培红