

扫描环诊断技术研究与分析*

穆长富

(国防科技大学计算机系 长沙 410073)

摘要 本文介绍扫描环诊断的原理和方法,并讨论硬件和软件设计,进行了效能分析,指出提高速度的方法。

关键词 扫描环,诊断,硬件,软件

分类号 TN391.5

Research and Analysis of Scan Ring Diagnostic Techniques

Mu Changfu

(Department of Computer Science, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract The scan ring diagnostic techniques are advanced and popular in the world. In this paper, the principles and method of scan ring diagnosis are presented, and the designs of hardware and software for scan ring diagnosis are discussed. Not only are the efficiency and ability analysed, but also an accelerating approach is proposed.

Key words scan ring, diagnosis, hardware, software

扫描环诊断测试技术是国际上流行的先进的诊断测试技术,其广泛地用于超大规模集成电路(VLSI)和计算机系统诊断。其不仅可把诊断插针数量减少到最低限度,而且将纵深复杂的时序逻辑转化为寄存器之间的组合逻辑。大大简化了测试算法和测试代码的生成。

1 工作原理

被测对象(计算机构件)内的所有寄存器(包括控制触发器)都采用串行移位电路,并且首尾相接构成的环路称之为扫描环。如图1所示。当诊断测试时,首先根据需要把诊断数据和控制状态信息,用串行移位方式扫入扫描环;而后,在并行加载方式下,精确控制发出希望数目的时钟脉冲;最后,通过移位方式从扫描环中扫出结果数据和状态信息,

* 1995年10月15日收稿

同正确的结果进行比较,分析、判断故障,从而达诊断测试的目的。

2 诊断测试系统的组成。

扫描环诊断测试是建立在它机诊断的基础上。一般由诊断测试处理机,诊断接口和被测目标构成。如图2所示。

诊断测试处理机一般由微机系统构成。可采IBM-PC机,也可采用68000微机系统。

诊断接口实现对扫描环的读写控制和时钟控制。

被测目标可以是计算机部件或者是一个计算机系统。也可以是VLSI。

诊断软件包括对扫描环操作的函数库、诊断测试程序以及诊断码的生成等。

3 硬件设计要求

3.1 被测目标设计要求

被测目标内的所有寄存器都要连入扫描环。

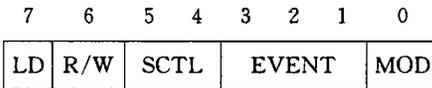
时钟统一受诊断接口控制。可以是连续地发出时钟,也可以是精确计数发出时钟。

寄存器具有左移、右移、并行加载和保持功能。

3.2 诊断接口

为了实现对被测目标时钟控制和扫描环的操作控制,定义五个寄存器。

①诊断控寄存器DCR:长度8位。具体定义如下:



MOD 字段: 位<0>。当为“0”时指明是正常方式,当为“1”时,指明是诊断方式。

EVENT 字段: 位<3:1>。编码指定各种操作:

101——时钟计数; 110——扫描环操作; 111——连续时钟。其它000——100留作备用。

SCTL 字段: 位<5:4>。编码指定环中寄存器操作:

00——保持; 01——右移; 10——左移; 11——并行加载。

R/W 字段: 位<6>。当为“0”时,指明是写扫描环。当为“1”时,指明读扫描环。

LD 字段: 位<7>。用于存储器件的读写。当为“1”时,指明写存储器件。当为“0”时,

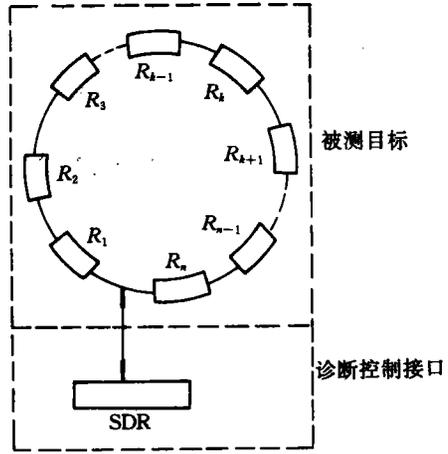


图1 扫描环示意图

$R_1, R_2, \dots, R_k, \dots, R_n$ 均为寄存器或者是控制触发器

SDR 为扫描环数据寄存器

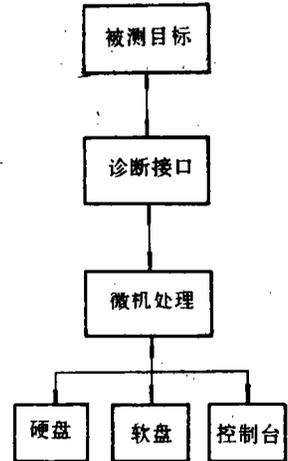


图2 扫描环诊断系统框图

读存储器件。

②时钟屏蔽寄存器 CMR：长度为 16 位。每位对应一个扫描环。当为“1”时，开放对应扫描环的时钟。当为“0”时，关闭对应扫描环的时钟。可支持 16 个扫描环。若扫描环数目增加，则相应地增加 CMR 寄存器的位数。

③扫描环数据寄存器 SDR：长度 16 位。具有左移，右移和并行加载功能。寄存扫描环的读写数据。

④时钟计数器 ECR：长度 16 位。用于时钟计数。

⑤运行暂停寄存器 RHR：只一位。用于时钟总控制。当为“0”时，关闭系统时钟。当为“1”时，开放系统时钟。当扫描环操作和时钟计数，ECR 寄存器等于零时，RHR 自动清零，关闭系统时钟。这与 DCR 寄存器的 EVENT 字段配合使用。当 EVENT 字段为连续时钟时，RHR 不自动清零。

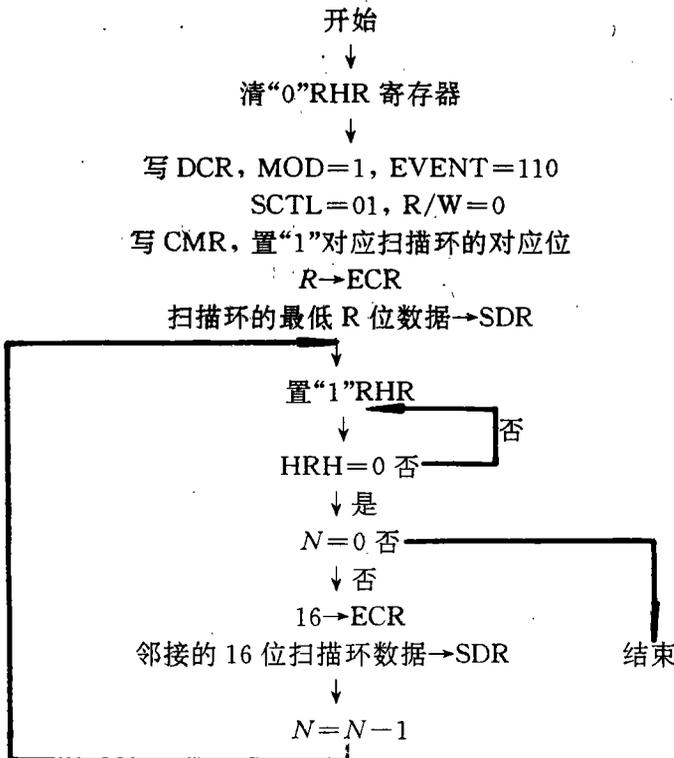
4 扫描环的读写算法

如上所述，扫描环数据寄存器 SDR 为 16 位，而扫描环的环长可以是任意的。因此对于环长大于 16 位的扫描环，需多次循环移位才能完成写入或读出。

设环长为 L ，即环中寄存器的总位数。 $L/16=N+R$ ，其中 N 为整数部分， R 为余数部分。则，读或写扫描环的操作次数为

$$M=N+1$$

以扫描环右移写入为例，操作流程如下：



扫描环的左移写、右移读、左移读等操作类同，在此不再详述。

5 被测目标的抽象模型

为了论述方便，以二级流水线的计算机功能部件为例。不论其逻辑和时序多么复杂，都可以抽象成如下的简化模型。如图 3 所示。

图中 R_0 , R_1 , R_2 连接构成被测目标扫描环。 R_0 为输入寄存器, R_2 为输出寄存器, R_1 为中间结果寄存器。 F_1 和 F_2 为组合逻辑。 R_1 可表达为 R_0 的函数。 $R_1 = F_1(R_0)$ 。 R_2 可表达为 R_1 的函数。 $R_2 = F_2(R_1)$ 。

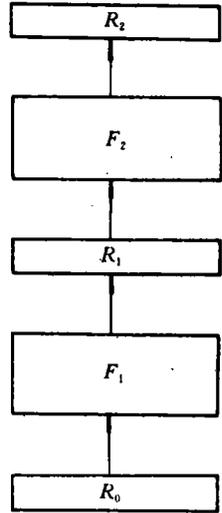


图 3 被测目标简化模型

6 扫描环诊断软件

基于扫描环的诊断测试步骤如下：

第一步：检查扫描环本身的正确性。

第二步：将测试代码写入扫描环。

第三步：在正常方式发出希望数目的时钟。

第四步：从扫描环回收结果和状态信息。

第五步：比较结果和故障定位。

第六步：打印输出诊断结果。

这里着重描述扫描环的操作软件。

6.1 扫描环自身测试程序

对扫描环逐位右移写入“1”，左移读出比较，可以定位固定“0”故障。逐位右移写入“0”，左移读出比较，可以定位固定“1”故障。反之亦然。对双向扫描环可以精确定位两位故障。

6.2 诊断函数库

为了编程的方便和灵活，设计了一个诊断函数库。包括 SCN—write, SCN—read, clock 等一套函数供编程调用。为了设计函数的通用性，每个扫描环建立一个统一格式定义文件来描述其特性。例如一个 ASU 部件的扫描环的定义文件如下：

```
ring name ASU;  
long 1091;  
  
field name      wid      mbs      pin  
addr            32       31       0;  
Data            32       63       0;  
state           3        -1      71, 73, 75;  
  
:
```

ring name: 指明扫描环。

long: 指明环长的总位数。

field name: 指明环中各字段的名称。

wid: 指明字段的宽度, 即该字段的位数。

mbs: 对于连续型字段, 指示该字段在环中的起始位号。对于离散型字段其为-1。

pin: 对于连续型字段, pin 为 0。对于离散型字段, 指明离散位在环中的位号。

上述定义文件中, addr 和 Data 为连续型字段。state 为离散型字段。根据扫描环定义文件, 软件产生相应的数据结构。

例如 SCN-write(ring, field, Direct, Data) 为写扫描环函数。ring: 环名变量。field: 字段名变量。Direct: 移位方向变量。Data: 写入数据变量。编程时, 通过调用 SCN-write 可方便地对环中的任一字段进行写操作。同理, 读操作可调用 SCN-read 函数。发时钟时, 可调用 clock 函数。

6.3 交互式扫描环实用程序

扫描环实用程序提供一系列交互式扫描环操作命令, 为软硬件调试提供方便。

例如: W Ring name: field name Data ↵

R Ring name: field name ↵

:

W 为写命令, R 为读命令。

7 效能分析

7.1 可测性和硬件开销

就诊断测试方法而言, 大体上可分为三种: 一是利用正常通道, 不加任何诊断硬件, 完全靠软件来诊断测试, 称之为正常通路法。二是开辟诊断通路与正常通路配合测试, 称之为辅助通路法。三是基于扫描环的诊断测试, 称之为扫描环诊断测试法。

由图 3 的抽象模型看, 正常通路法, 只能从 R_0 加载测试码, 并且只能从 R_2 回收结果。 R_1 中的中间结果无法回收。显然, R_1 、 R_2 、 F_1 、 F_2 之间的故障无法区分和定位。

辅助通路法, 虽然可通过诊断通道获取中间结果 R_1 的信息, 但由此带来辅助硬件的增加和诊断插针数量的增加。其不但硬件开销大, 而且有时工程上难以实现。

扫描环诊断法恰好可以克服上述二种方法的致命弱点。扫描环诊断法也可以说是串行的辅助通路法。由于所有寄存器都可以通过扫描环扫入和扫出, 图 3 中, R_1 、 R_2 、 F_1 、 F_2 之间的故障都可精确定位。就诊断插针而言, 一根方式线, 二根移位控制线, 一根读写线, 一根时钟线, 只需增加五个诊断插针。由于具有移位和并行加载功能的寄存器芯片与一般的寄存器芯片的价格差异甚微, 故硬件开销很小。其控制和连接也简单, 工程上容易实现。

7.2 时间分析

诊断测试的软件开销与诊断测试的算法、程序实现的方法以及数据结构密切相关。在此忽略软件开销, 着重分析硬件的时间开销。本文以子测试为基础, 并以一个扫描环为例来进行时间分析。

假设第 i 个子测试的执行时间为 T_i , T_c 为时钟周期时间, L 为环长(即环中寄存器的位数), K 为希望的时钟数。则写环时间 $T_w = LT_c$, 读环时间 $T_r = LT_c$ 。

$$T_i = T_w + K T_c + T_i = LT_c + K T_c + LT_c = 2LT_c + K T_c$$

假定有 n 个子测试,

$$\text{总的测试时间为 } T = \sum_{i=1}^n T_i = \sum_{i=1}^n (2LT_c + K_i T_c) = T_c \sum_{i=1}^n (2L + K_i)$$

就图 3 的抽象模型而言, K_i 少则为 1, 多则为 2。而 L 少则数百位, 多则上千位。由此观之, 测试时间主要受 L 的影响, 并且主要由读环和写环产生。

7.3 提高速度的方法

根据上述分析, 提高速度的关键是减少读写环时间, 也就是缩短环长 L 。分类连环是一个有效的方法。作为输入和控制的寄存器连成一个环, 在测试中只进行写操作。作为输出的寄存器连成一个环, 在测试中只进行读操作。设 L_w 为输入环的环长, L_r 为输出环的环长, 则 $L = L_w + L_r$ 。同前所述, $T_w = L_w T_c, T_r = L_r T_c, T_i = T_w + T_r + K_i T_c = L_w T_c + L_r T_c + K_i T_c = L T_c + K_i T_c$ 因此

$$T = \sum_{i=1}^n T_i = \sum_{i=1}^n (L T_c + K_i T_c) = T_c \sum_{i=1}^n (L + K_i)$$

$$\text{加速比 } S = \frac{T_c \sum_{i=1}^n (2L + K_i)}{T_c \sum_{i=1}^n (L + K_i)} = \frac{\sum_{i=1}^n (2L + K_i)}{\sum_{i=1}^n (L + K_i)}$$

由于 L 远大于 K_i , 因此加速比将会接近 2。

8 结束语

扫描环诊断具有可测性好, 故障定位精确, 成本低, 引线少, 在工程上易于实现等优点, 是一个良好的诊断测试模式。扫描环已成功地用于某巨型机的插件测试系统和系统诊断, 大大加速了机器的插件调试和系统调试。

扫描环诊断不仅用于计算机部件和系统诊断, 而且也适用于电子数字设备, 超大规模集成电路的诊断测试。具有广阔的应用前景。

参考文献

- 1 金土尧. 扫描环系统诊断技术, 计算机工程与科学. 1991(9)

(责任编辑 潘 生)