

基于边界扫描技术和 TCL 语言的簇测试设计

胡 晓, 谈恩民, 陈寿宏, 尚玉玲

(桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院, 广西 桂林 541004)

摘要: 在边界扫描测试技术中, 由 BS 器件和非 BS 器件主成的逻辑簇测试是研究的难点问题, 文章介绍了高效、简明、移植性好的 TCL 语言, 在深入研究边界扫描簇测试原理的基础上, 以实现逻辑簇测试为目的, 采用了 TCL 嵌入 C++ 的方法实现测试用例的脚本化, 完成了基于 TCL 语言的 Cluster 测试脚本设计; 通过对数字电路实验板的测试结果分析, 得到了使用 TCL 脚本语言与 C++ 联合编程能够实现簇测试, 并且可以提高边界扫描测试软件工作效率的结论, 具有较好的应用前景。

关键词: TCL 脚本; 簇测试; 边界扫描测试

Design of Cluster Test Based on Boundary Scan Technology and TCL Language

Hu Xiao, Tan Enmin, Chen Shouhong, Shang Yuling

(School of Electronic Engineering and Automation, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In the boundary scan test technology, the BS device and non-BS device components into logic cluster test is the difficult problem in the study. This paper introduces TCL language which has high efficient and good portability, and take cluster test as an example, introduced the application of TCL language based on boundary scan technology. Through the test validation, the use of TCL script language with C++ programming can improve the work efficiency of boundary scan test software, has a good application prospect.

Keywords: TCL script; cluster test; boundary-scan test

0 引言

边界扫描测试技术已经得到了国内外厂商的广泛支持, 而这种测试技术要求被测器件必须具备 IEEE1149.1^[1] 标准所规定的 BS (boundary Scan) 测试结构, 因此由非 BS 器件组成的逻辑簇测试是目前边界扫描测试技术需要研究的关键问题^[2]。

边界扫描测试系统软件在进行簇测试运行时需要一个描述逻辑簇的测试脚本。国内目前很多高校研究开发的基于边界扫描的簇测试系统^[3], 多是采用 C 语言的方式来描述测试脚本的, 系统调用测试脚本时, 需要编译后才能执行, 如果改变了测试对象, 需要重启和重新编译, 工作效率低。为提高脚本的执行效率, 本文采用了边界扫描 Cluster 测试原理和测试脚本的设计方法, 结合 TCL 脚本语言的特点, 对基于边界扫描技术和 TCL 语言的簇测试设计思路进行了详细的分析。

1 簇测试基本原理

Cluster 测试^[4]就是在电路板上, 边界扫描器件将非边界扫描器件包围, 在其周围形成虚拟扫描通路, 实现非边界扫描器件的测试。其基本原理是: 首先将非边界扫描器件作为一个逻辑簇 (Cluster), 它被若干边界扫描器件包围, 根据合适的算法生成 Cluster 测试矢量。启动一个边界扫描测试, 在它的输入端边界扫描器件加载 Cluster 测试矢量, 最终的测试响应由边界扫描链移动输出, 最后将测试响应进行分析, 完成对逻辑簇的测试, 过程如图 1 所示。Cluster 测试实际还是使用的 EXTEST 测试指令, 根据 Cluster 的逻辑功能, 生成一套完整的测试向量来完成 Cluster 功能测试, 但如果需要 Cluster 内

部节点的故障定位, 还需要提供足够的描述性信息, 例如逻辑簇的功能描述, 并采用适当的测试向量生成算法执行 Cluster 内部故障定位和诊断。

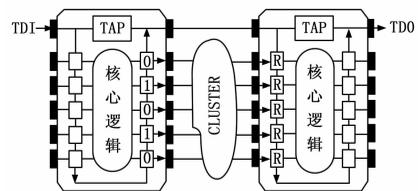


图 1 Cluster 测试原理图

2 TCL 脚本语言

2.1 简介

工具命令语言 (tool command language, TCL)^[5] 是一种用于控制和扩展应用程序的脚本语言。TCL 易学、好用, 功能强大, 可以满足大多数应用程序的需要。TCL 经常被用于快速原型开发, 脚本编程, GUI 和测试等方面。

TCL 语言像胶水一样, 将许多应用程序粘在一起, 它的每一条语句都是一条命令, 而且任何事物都可以用它重新定义和重载, 容易用 C、C++、或者 Java 扩展测试用例。

在设计初期就明确了 TCL 能够非常容易且有效地与 C 结合, 这种结合常见于大型应用程序。既可以通过编写 C 格式的 TCL 命令将 C 代码植入 TCL 应用程序中, 也可以将 TCL 嵌入到一个现有的应用程序当中。

2.2 基于 TCL 脚本的簇测试系统模型

在 VC++ 编写的边界扫描测试软件模型中, 通过调用 TCL 脚本解释器执行测试脚本, 实现测试用例调度和执行模块; 将 TCL 脚本嵌入到应用界面和测试主控器 API 层当中, 还需要编写处理 TCL 脚本的代码段, 最后在界面上显示测试

收稿日期:2014-04-10; 修回日期:2014-05-10。

基金项目:国家自然科学基金项目(61102012)。

作者简介:胡 晓(1988-),女,重庆人,工学硕士,主要从事计算机辅助测试等方面的研究。

过程和测试结果^[6]，如图 2 所示。

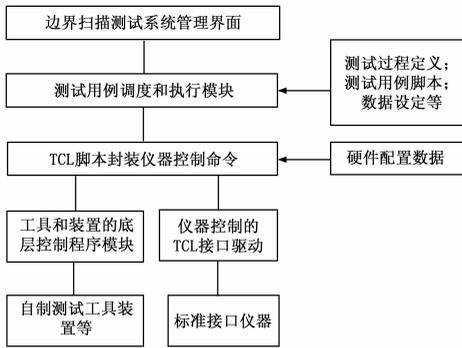


图 2 嵌入 TCL 脚本的测试系统模型

在上述方法中，测试用例的脚本化是通过 TCL 脚本嵌入边界扫描测试系统而实现的，将测试用例和测试系统分开，提高了测试用例的可重用性和可扩展性，所以本课题使用 TCL 嵌入 C++ 的方式实现测试用例的脚本化。

3 簇测试脚本设计

3.1 被测 DEMO 板设计

为实现基于边界扫描测试的簇测试，设计了一块带有示范性的 DEMO 板。在该 DEMO 板的 TAP2 链路上使用两片带有 BS 结构的芯片 SN74BCT8244 (U7) 和 SN74BCT8734 (U8) 包围 ISCAS'85 电路中的 C17 电路 (U9)，因而可以把 U7、U8 的边界扫描单元作为其虚拟测试点，实现了可观性、控制性。开关 F4 可控制第二条扫描链的 Cluster 测试的 U9 第二脚接地，扫描链路结构如图 3 所示。

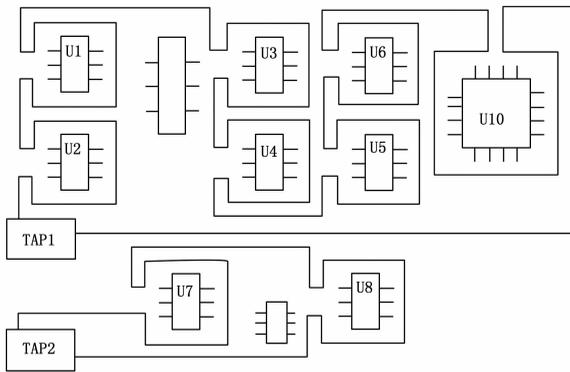


图 3 DEMO 板扫描链图

3.2 被测 DEMO 板信息

应用边界扫描测试系统进行簇测试时需要一个描述逻辑簇的测试脚本，测试脚本是指可以被自动化测试工具执行的特定测试的一系列指令。系统通过调用解释器来逐条执行簇测试脚本，完成对非 BS 器件的 Cluster 测试。

内核逻辑功能决定了 Cluster 测试矢量的生成，仅仅由被测电路网表文件和 BSDL 文件是难以确定芯片内核逻辑功能，需要额外提供 Cluster 描述文件和 Cluster 正确响应文件才可能生成相应的测试矢量。因此，测试脚本中必须包含 Cluster 描述文件和 Cluster 正确响应文件。

在一些由非 BS 器件组成的逻辑簇中，Cluster 描述文件能够让系统知道 Cluster 的输入输出关系，和逻辑功能验证中，哪几个引脚作为输入，哪几个引脚作为输出。

Cluster 正确响应文件主要对 Cluster 的逻辑关系进行说明，组合逻辑电路功能一般用真值表描述，而时序逻辑电路一般用功能表描述。响应文件中每一行就是一组输入输出的对应值，H 表示高电平，L 表示低电平。值的排列顺序和 Cluster 描述文件中引脚的说明顺序保持一致。

本文只对由门电路构成的且能用功能表描述功能 Cluster 进行测试矢量生成。Cluster 的测试与 INTEST 功能测试类似，不同在于测试矢量通过连 Cluster 输入管脚的边界扫描单元加载，在与输出管脚相连的边界扫描单元采集测试响应。已知某 Cluster 电路如图 4 所示，其 Cluster 描述文件为：

```

proc CLUSTER_C15{ } //过程 Cluster 标识及名称
{
  set U2-2 INPUT //设置输入管脚
  set U2-3 INPUT
  set U2-4 INPUT
  set U1-23 OUTPUT //设置输出管脚
}

Cluster 正确响应文件为：
proc FUNCTION_TABLE{ } //过程 Cluster 功能表
{
  L L L L
  L L H L
  L H L L
  L H H H
  H L L L
  H L H L
  H H L H
  H H H H
}

```

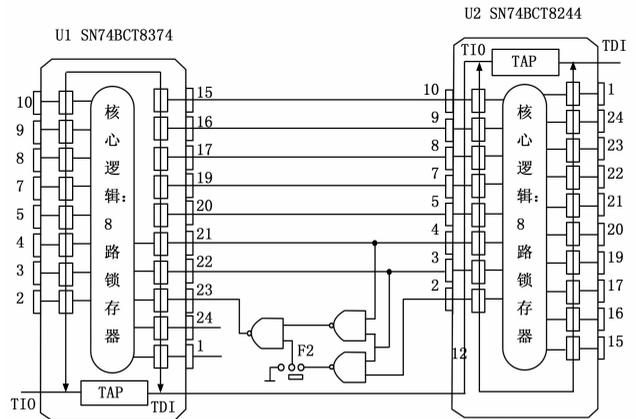


图 4 Cluster 电路

4 测试环境与测试验证

4.1 C/C++ 中调用 TCL

边界扫描测试软件由高级语言 C++ 编写，因此，需要解决簇测试脚本与应用程序的接口问题，实现测试脚本的可移植性。例如在 TCL 脚本中编写测试流程，在 C++ 代码中仅需执行 Tcl_EvalFile 函数就可以处理文件中的 TCL 脚本。对不同的功能编写不同的测试脚本，当需要添加新的功能或者功能发生改变时，不需要修改源代码，只需添加或改变配置文件或脚本文件，就可以实现了 TCL 定制化，具有很强的针对性^[7]。

要想在测试系统中调用 TCL 测试脚本，首先要进入

C++ 程序中的 main 函数, 在主函数中载调用 Tcl_Main 函数。Tcl_Main 函数是由 TCL 语言提供的 C 库函数, 它有以下几个功能^[8]:

- 1) 调用 Tcl_CreateInterp 函数, 生成一个新的 TCL 解释器, 并返回指向这个解释器的指针。
- 2) 调用 Tcl_AppInit 函数, 完成应用程序特定的初始化, 例如创建新的命令。
- 3) 调用 Tcl_Init 函数, 作应用的初始化工作, 如注册自己的 TCL 扩展命令, 生成自己需要的数据对象等。
- 4) 执行 Tcl_EvalFile 读入脚本或进入交互状态。

C++ 中调用 TCL 脚本的典型结构如下:

```
include <stdio.h>
include <tcl.h>
int Tcl_AppInit(Tcl_Interp * interp);
main(int argc, char * argv[])
{
    Tcl_Main(argc, argv, Tcl_AppInit);
    exit(0);
}
int Tcl_AppInit(Tcl_Interp * interp)
{
    if (Tcl_Init(interp) == (TCL_ERROR))
    {
        return TCL_ERROR;
    }
    if (Tcl_EvalFile(interp, "test.tcl") == TCL_ERROR)
    {
        return TCL_ERROR;
    }
}
```

4.2 测试验证

边界扫描测试系统测试平台硬件基于 USB 总线, 包括 PC 机、USB 驱动接口、边界扫描测试总线控制器 8990、可测试存取口 JTAG 总线和支持 IEEEStd1149. 1 标准的边界扫描测试板。软件基于 Windows XP 系统, 采用 Visual Studio 2008 中的面向对象技术 Visual C++。

为了在 C++ 中能够调用 TCL 脚本, 要在应用程序中添加 TCL 头文件和库文件, 并设置相应的头文件和库文件路径。

1) Cluster 正常测试:

(上接第 2741 页)

- [15] 史东锋, 屈梁生. 遗传算法在故障特征选择中的应用研究 [J]. 振动测试与诊断, 2000, 20 (3): 171-176.
- [16] Tahereh Pourhabibi, Maryam Bahobj Imani, Saman Haratizadeh. Feature selection on Persian Fonts: A Comparative Analysis on GAA, GESA and GA [J]. Procedia Computer Science, 2011, (3): 1249-1255.
- [17] 刘素华, 侯惠芳, 李小霞. 基于遗传算法和模拟退火算法的特征选择方法 [J]. 计算机工程, 2005, 31 (16): 157-159.
- [18] Snehamoy Chatterjee, Ashis Bhattacharjee. Genetic algorithms for feature selection of image analysis-based quality monitoring model: An application to an iron mine [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2011, (24): 786-795.
- [19] 余有明, 刘玉树, 阎光伟. 遗传算法的编码理论与应用 [J]. 计算机工程与应用, 2006, 42 (3): 86-89.
- [20] 赵 云, 刘惟一. 基于遗传算法的特征选择方法 [J]. 计算机工

编译 DEMO 板第二条扫描链, 然后测试任务栏选择“Cluster 测试”, 读入 Cluster 的描述文件和响应文件, 然后进行 Cluster 测试, Cluster 功能正常。结果如图 5 所示:

2) Cluster 故障测试:

编译 DEMO 板第二条扫描链, 然后测试任务栏选择“Cluster 测试”, 读入 Cluster 的描述文件和响应文件, 打开开关 F4, 然后进行 Cluster 测试。F4 开关是将 U9 的第 2 管脚接地, 故障表现形式为 U7 的第 23 管脚固定为 1。Cluster 测试发现故障, 进行故障诊断, 得到故障的准确位置。

以上测试结果表明, Cluster 测试功能正常, 通过对测试值和期望值的对比分析, 能够准确地将故障定位到器件的引脚上。采用 TCL 语言编写测试脚本与传统的 C 编写的测试脚本相比, TCL 语言不需要编译, 解释器会一条条的执行, 使测试效率提高。

5 结语

在边界扫描测试系统中引入 TCL 脚本, 可以很方便地扩展测试用例使得测试系统更加完善。随着边界扫描测试系统的不断发展, 测试任务越来越多, 需要提高测试效率来保证系统的稳定性和可靠性。相信 TCL 语言凭着其高效、简明、移植性好的优势必将在边界扫描技术领域有着广阔的发展前景。

参考文献:

- [1] Test Technology Technical Committee of the IEEE Computer Society. IEEE Std 1149. 1-1990 [S]. 1990.
- [2] 陈光禹. 可测性设计技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1997.
- [3] 董 兵, 王 宁. 基于边界扫描的非完全 BS 电路板测试诊断技术 [J]. 半导体技术, 2005, 30 (12): 38-41.
- [4] 黄 新. 基于边界扫描的网络化测试技术研究 [D]. 广西: 桂林电子科技大学, 2010.
- [5] John k. Ousterhout Ken Jones 著. Tcl/Tk 入门经典 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [6] 魏 玄, 申 敏. 基于 TCL 脚本语言的 AT 指令自动化测试技术的研究 [J]. 重庆邮电大学学报, 20 (5): 517-520.
- [7] 李志报, 袁 亮. 基于 Tcl/Tk 语言的自动化测试平台的实现 [J]. 测控技术与仪器仪表, 2013, 39 (1): 59-61.
- [8] 崔 凯. Tcl/Tk 编程权威指南 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [9] 王 强. 边界扫描测试技术 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004, (15): 52-54.
- [21] Rubiyah Yusof, Marzuki Khalid, Anis Sa-lwa. M. khairuddin. Application of kernel-genetic algorithm as nonlinear feature selection in tropical wood species recognition system [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, (93): 68-77.
- [22] 毛罕平, 徐贵力, 李萍萍. 基于遗传算法的蔬菜缺素叶片图像特征选择研究 [J]. 江苏大学学报 (自然科学版), 2003, 24 (2): 1-5.
- [23] 张文鸽, 吴泽宁, 逯洪波. BP 神经网络的改进及其应用 [J]. 河南科学, 2003, 21 (2): 202-206.
- [24] 周磊磊, 张文广, 何 甦, 等. 模拟电路故障诊断技术研究 [J]. 海军航空工程学院学报. 2006, 21 (1): 127-130.
- [25] 樊振宇. BP 神经网络模型与学习算法 [J]. 软件导刊, 2011, 10 (7): 66-68.
- [26] 尹念东. BP 神经网络的应用设计 [J]. 信息技术, 2003, 27 (6): 18-20.