

基于 JTAG 接口的多 DSP 处理板故障诊断技术研究

王秀霞¹ 李艳福²

WANG Xiuxia LI Yanfu

摘要

随着 DSP 应用技术的快速发展,为满足实时处理的性能要求,越来越多的系统采取多 DSP 的并行处理方式。并行处理系统通常由多个 DS 处理单元组成,结构比较复杂,因此系统发生故障的概率和诊断难度也不断增加,对故障诊断技术的需求也更为迫切,有效的故障诊断技术能够及时发现并定位故障,快速完成产品维修。就当前的情况而言,DSP 等器件往往会借助 JTAG (joint test action group) 接口来充当其与 PC 机进行通信的媒介,基于此,设计了几种以 JTAG 接口为基础的智能故障诊断设计方案,且通过实际的应用案例,证明利用本诊断技术能够在很大程度上提升故障诊断的响应速度以及准确率。

关键词

故障诊断; JTAG 接口; 边界扫描

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2025.09.044

0 引言

随着现代数字信息处理器(DSP)技术的进步,为了满足移动通信、雷达信号处理和实时图像处理等复杂的电子系统对某些大运算量的要求,产品电路设计时,越来越倾向于选用多片 DSP 架构。但是,由于 DSP 芯片多为 BGA 封装,器件引脚间距极小,该架构在提高了产品性能的同时,也成为电路板最易发生故障的环节,且由于引线均在电路板内部,无法采用探针直接测试,电路板出现故障后故障定位极其困难,严重影响了产品交付进度。因此,无论是从降低 DSP 故障排查难度出发,还是从提高经济效益的角度考虑,都需要进行故障快速诊断技术的研究。

本文在深入研究某型多 DSP 处理板工作原理的基础上,设计了基于 JTAG 接口的智能故障诊断方法,通过运用该技术方案,可进行有效的故障检测和故障隔离,并将故障隔离至最小的测试单元,从某种程度上来说,在保障生产节点方面,该研究具有极为重要的现实意义。

1 某型多 DSP 处理板组成

在设计多 DSP 处理板时,采用了 4 片 DSP 以满足并行计算的需求。4 片 DSP-TS201 通过自身 Link 口互联形成的松耦合结构,并且外加总线簇互联的紧耦合结构,组成了多 DSP 处理板,如图 1 所示,4 片 TS201 通过 Link 口两两互联,形成环状松耦合的拓扑结构,这种结构便于多 DSP 芯片间的灵活通讯和信息传递;同时通过总线簇互联,4 片 DSP、1 片程序存储器、1 片数据存储器又形成紧耦合结构,从而可

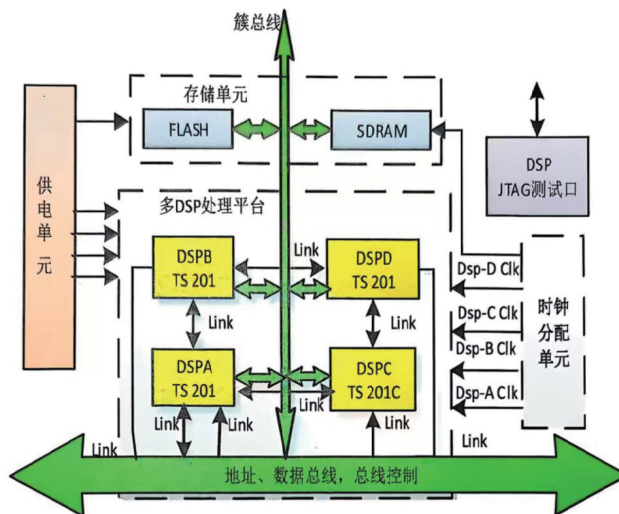
以在簇内共享资源^[1]。

图 1 某型多 DSP 处理板组成框图

本方案中多 DSP 处理板工作时,通过产品 JTAG 口连接 DSP 仿真器及调试主机,在 Visual DSP++ 集成开发调试环境(VisualDSP++IDDE)下,实现产品的程序加载和调试。该产品选用的 JTAG 接口符合国际标准测试协议 IEE1149.1^[2],通过 JTAG 接口进行 DSP 板开发时,既能测试 DSP 芯片是否正常工作,还能检测总线上其他外围电路,如 FLASH、RAM 等存储器电路和接口电路是否正常。

由于本产品中众多芯片都兼容 JTAG 标准,因此本文设计的诊断方案为通过 JTAG 接口及 Visual DSP++ 调试系统等实现。

2 多 DSP 处理板故障诊断方案设计

虽然多 DSP 处理板故障后无法采用探针直接测试,但由

1. 中国空空导弹研究院 河南洛阳 471009

2. 中国人民解放军 93160 部队 北京 100071

于选用的 DSP 器件以及接口、驱动等小型器件均支持 JTAG 边界扫描技术，通过设计边界扫描链^[3]，开发测试指令集（TPS），即可实现电路板故障诊断，迅速给出故障信息。因此根据多 DSP 处理平台软件、硬件工作原理，考虑设计基于 JTAG 接口的故障快速诊断方案。

故障诊断方案设计时，通常包括 4 个方面：

（1）系统建模和故障建模。即依据产品的信息、输入输出关系、具体表现及其出现的条件，构建正常系统与故障后系统的测试表征，从而为后续的分析 and 诊断提供可靠的基础。

（2）分析研究与推理假设。在收集到故障后，对被测件的结构和原理进行深入分析，找出可能的故障原因，根据现有的信息推断出可能的故障源。

（3）故障检测。根据之前的推理假设，制定出具体诊断步骤和方法，及时将被测件工作状态检测出来，针对测试表征确认被测件是否正常。

（4）故障辨识。若某变量超出了运行范围，即将其视作故障信号。首先要开展故障诊断与隔离工作，防止次生问题的出现，后依据故障建模来明确故障的位置、大小以及故障发生的原因。

2.1 基于软件故障注入的诊断技术设计

故障注入技术作为提升故障诊断的手段已经在多个领域广泛应用，分为基于硬件的故障注入技术和基于软件的故障注入技术。其中软件故障注入技术既能从软件层模拟注入硬件的故障，又能对软件故障进行模拟^[4]，具有便捷且不需要额外硬件的优点，因而成为故障诊断的一种重要手段。

软件故障注入通过编译软件的方法来确认故障部位^[5]。多 DSP 处理板的通讯信号被引出至故障注入系统，经注入故障后再送回多 DSP 处理板，软件故障诊断的流程如图 2 所示。一般在确

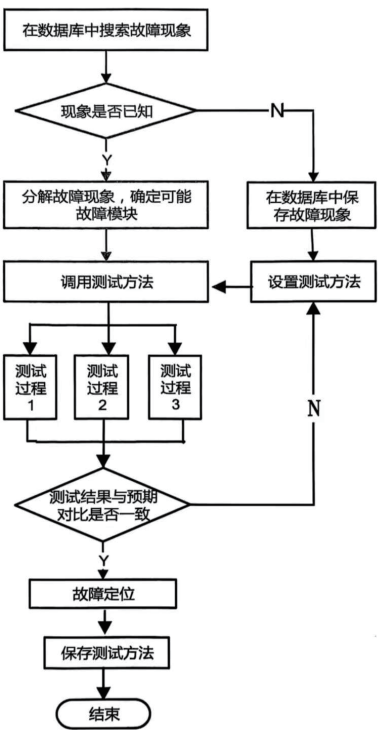


图 2 故障诊断的流程

定故障之后，为了方便下次调用，测试数据、内核以及测试结果需要被存入对应的数据库，以对故障库数据进行实时增补和完善。

故障注入是一种主动故障产生技术，通过人为向目标注入故障来触发和观察系统故障行为。在排故过程中，当系统出现故障但难以确定根源时，为了不改变产品硬件状态，可以利用故障注入技术逐步模拟可能的故障情况，观察系统的响应，从而缩小故障排查的范围，快速定位故障根源。

2.2 基于边界扫描技术的诊断技术设计

边界扫描故障诊断方式是根据电路板的工作原理和结构特点，利用 IEEE1149.1 边界扫描标准，通过边界扫描器，完成对被测电路板的测试、分析和诊断等功能。

该诊断方式能在很短时间检测出可能存在的短路、开路、带阻抗短路等焊接故障^[6]，并给出故障位置信息。这种方法在具有在线测试、离线测试以及系统调试等功能的同时，还具有设计简单，故障覆盖率高，定位准确的优点。

边界扫描诊断是一种用于集成电路和 PCB 板测试的技术，通过增加扫描链和测试端口来检测故障。边界扫描故障诊断方案包括硬件和软件两部分。其中硬件部分采用专用的边界扫描控制器 XJLink，搭配底层的 API 函数，配合小巧的 USB 接口，即可实现程序控制。软件部分主要包含 BSDL 文件分析模块、网表文件分析模块、测试矢量生成模块、测试控制模块，以及结果处理与显示模块^[7]，通过建立扫描链，实现链路扫描。边界扫描方案如图 3 所示。

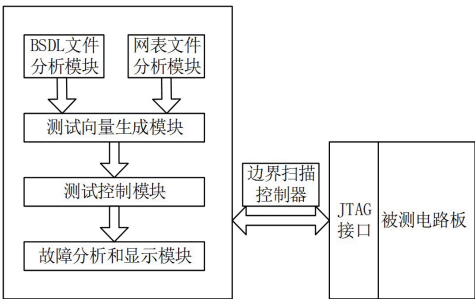


图 3 边界扫描方案图

边界扫描技术是一种可测试结构技术，通过模拟物理引脚对器件内部进行扫描测试^[8]，边界扫描的优势包括灵活性、自动化集成，支持多种测试模式，易于与现有系统整合。相比传统飞针测试，不需要物理探针，适合高密度板卡，边界扫描不仅能测试数字电路，还能扩展到其他协议实现仿真，测试时结合产品的 BSDL 文件和电路板网表文件，以及结合一定的电路板故障诊断算法产生相应的测试向量，实现对被测电路板故障诊断。

边界扫描诊断可进行以下几个方面检测：

(1) 互连测试 (Interconnect Test)

检测 PCB 上芯片间的开路、短路或错位故障。

(2) 芯片内部逻辑测试

使用 INTEST 指令将测试数据加载到芯片内部逻辑输入端, 并捕获输出结果以验证逻辑功能。

(3) 旁路模式 (BYPASS)

旁路寄存器缩短扫描链, 跳过非目标芯片以提升测试效率。

2.3 基于物理隔离的故障诊断方案设计

物理隔离法是一种物理分析方法, 主要用于研究系统中单个物体的行为。这种方法的核心在于从周围的物体中将所研究的对象隔离出来, 然后对其状态单独分析。这种方法的优点是隔离整个系统中的某一部分, 然后单独分析被隔离部分的情况, 从而将复杂的问题转化为一个个简单的小问题进行诊断^[9]。

多 DSP 处理板 EDA 设计时, 将 DSP 的 JTAG 接口连接在一起, 通过一个 JTAG 接口实现连接所有的 DSP, 即菊花链方式互连。为对多路 DSP 实现任意单个或多个调试, 针对菊花链的串联特性, 在菊花链中增加模拟开关电路 (即 $0\ \Omega$ 电阻), 每一级 DSP 的 JTAG 口相当于有一个开关。当所有开关闭合时, 形成闭合菊花链。通过 $0\ \Omega$ 电阻模拟开关的配合, 实现自由连接一个或多个 DSP。具体设计如图 4 所示, 连接 JTAG 接口 TDO 的器件为菊花链上的第一个器件, 连接 JTAG 接口 TDI 的器件为菊花链上的最后一个器件^[10]。

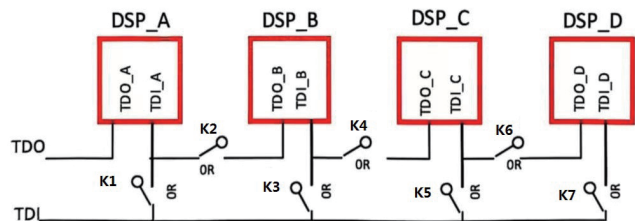


图 4 菊花链连接方式互连示意图

以调试 DSP_B 和 DSP_C 两路 DSP 为例, 采用物理隔离设计方法如下:

(1) 闭合开关 K2 和 K3;

(2) 打开 K1、K4 至 K7, JTAG 链则只连接了 DSP_A 和 DSP_B;

(3) 调试 DSP_B 和 DSP_C 时, 则 K2、K4 和 K5 处的开关闭合, K1、K3 和 K7 处的开关打开, DSP_B, DSP_C 的 JTAG 的连接就完成了。

3 故障诊断技术应用

3.1 基于软件的故障注入诊断技术应用实例

多 DSP 处理板电路设计时, 每个 DSP 芯片对应一个 LED 工作指示灯, 且 LED 灯布局在印制板的边缘部分, 在

结构体的对应位置均有观测窗口, 产品加电后可根据 LED 灯闪情况实时观察 DSP 芯片是否功能正常, 因此, 根据 DSP 板 FLAG 工作指示灯功能特点, 设计针对 DSP 芯片故障的故障诊断程序。

工作程序与故障诊断程序区别在于: 故障诊断程序注入后, 在进行上电测试时, 故障芯片对应 FLAG 工作指示 LED 灯将恒定不闪。如图 5 所示, 其他位号的 LED 灯则会正常闪烁, 闪烁频率、时间, 可根据故障程序调整变化。

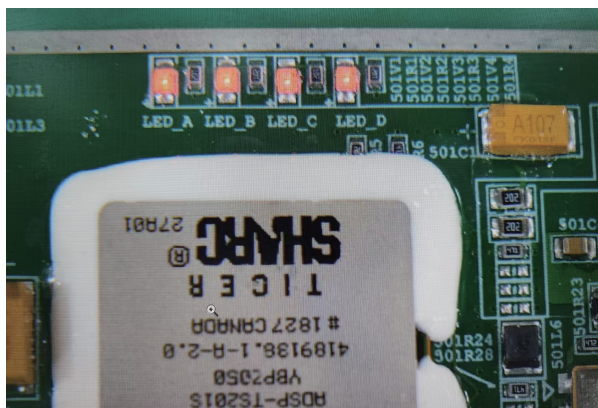


图 5 LED 灯位置分布

软件注入故障诊断技术可以模拟多种类型的故障, 包括硬件故障、软件故障、常温故障等。这使得排故人员能够在不同的故障场景下对系统全面的测试和分析, 更准确地定位和解决问题。例如在软件测试中, 可以模拟网络中断、硬件故障、软件异常等不同类型的故障, 以检验系统的应对能力^[8]。

3.2 基于边界扫描技术的故障诊断应用实例

如图 6 所示, 给出了 DSP 互联引脚故障的模型示意图。故障诊断时就是将实际响应矢量与期望响应矢量进行比较, 并对差异进行分析, 从而求得故障的位置与类型^[9]。

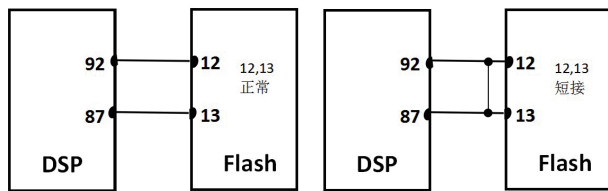


图 6 芯片引脚故障示意图

将待测产品接入边界扫描系统, 然后进行上电测试, 测试结果如图 7 所示。通过对产品的测试结果表明, 边界扫描故障诊断能对故障给出精确的定位。边界扫描检测方式简单、高效, 很好地体现了边界扫描结构在故障诊断中的优点。利用该技术, 对系统中芯片管脚的测试可以提供 100% 的故障覆盖率, 能够实现高精度的故障定位, 有效缩短了产品的交付周期, 这在交付节点要求严格的场合非常适用。

