

文章编号:1001-9081(2008)05-1355-04

PXI 平台自适应重构多 DSP 系统设计研究

贾 杰,秦永元

(西北工业大学 自动化学院,西安 710072)

(jjjie757@sina.com)

摘 要:利用蠕虫算法,结合多处理器并行计算的特点,构成了一种基于总线共享和链路口通信,并可自适应扩展的混合并行处理的结构。从可测性设计、实时操作系统角度对该系统进行了设计和讨论,着重介绍了系统的硬件调试、系统测试以及软件加载方法,为高速实时信号处理硬件平台的设计与开发提出了一种可行的解决方案。

关键词:多 DSP;自适应重构;并行处理;PXI

中图分类号:V448.25;TP39 **文献标志码:**A

Research on self-adaptive reconfigurable multi-DSP system in PXI platform

JIA Jie, QIN Yong-yuan

(School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an Shaanxi 710072, China)

Abstract: In this work, a new run-time reconfiguration multi-DSP system architecture was given. In this system, combining the characteristic of the multi-processor parallel computation and worm arithmetic, a mixed architecture that can be adaptively expanded based on shared bus and linkports was constructed. And the system was designed and discussed from the point of measurability. Self-Adaptive operating system, a feasible project was proposed for the high speed Self-Adaptive signal processing platform. The hardware debugging, system testing and the software loading methods were introduced. These works may offer some meaningful reference and guide for some similar systems developed in the future.

Key words: Multi-DSP; self-adaptive reconfiguration; parallel processing; PXI

0 引言

DSP 面向的是数据密集型的处理,其系统控制、协议支持的能力要弱于面向事务密集型的嵌入式 RISC 处理器,在实际系统中,适合采用模块化、开放式的主从式分布并行结构,选择合适的实时总线是系统设计的关键。PXI 总线具有开放性、模块化、体积小、速度快、可靠性高等特点,非常适合作为构建多 DSP 并行系统的平台。然而由于技术实现的难度、支持软件的不足和价格等因素的影响,目前使用单片浮点 DSP 的 PXI 仪器产品还不多,支持多 DSP 并行处理的就更少了。

在高性能计算机领域,对大规模嵌入式并行处理系统的需求强烈。目前由于缺乏有效的软件开发调试工具,大多数应用软件的调试都采用 DSP 厂商提供的集成开发环境+硬件仿真器的方案进行调试(即 IDE&JTAG)。这种方案对于使用较多 DSP 进行信号处理的高性能计算机系统来说有几个缺点:

1) 仿真环境只能在实验室搭建,无法对移动 DSP 系统进行远程调试。

2) 对于高性能计算机领域使用广泛的 ADSP-SHARC 系列和 TigerSHARC 系列 DSP 芯片,仿真环境仅支持 8 个 DSP 的级联调试,无法满足较大规模 DSP 系统开发的需求。

3) 仿真环境的软件调试虽然功能强大,但因为 DSP 速度太快,仿真器根本无法做到实时性。

同时随着实时信号处理应用领域的不断扩展,多处理器系统处理对象的多样化程度、处理算法的多层次化程度越来越高,固定的多处理器体系结构已经不能满足实际应用的需

要。可重构,尤其是自适应可重构的多处理器并行处理系统可以更好地实现任务算法结构与处理器硬件结构间的相互匹配,提高了并行系统的执行效率,同时也提高了系统的容错性。因此,研究设计基于 PXI 的自适应可重构的多 DSP 并行调试功能、可提供多种调试手段、具备实时调试能力、且适用于各种拓扑结构和多种 DSP 芯片的软件调试环境具有重大的理论和实际应用意义。

1 系统组成

系统测试由主机测试程序和 DSP 监控程序组成,两部分通过通信协议协同工作实现所有开发功能,其通信环境也针对不同的测试对象并行 DSP 系统进行了适应性设计和开发:1) HOST 方式(适用于紧耦合 DSP 系统);2) LINK 方式(适用于松耦合 DSP 系统);3) COM 方式(适用于远程调试);4) LAN 方式(适用范围较广)。

本文应用第 4 种方式,其系统环境结构(LAN)如图 1~2 所示。安装有测试对象总体性能测试系统的主机如(PC/便携式计算机)与安装有服务程序的服务器连接在一个以太网中。每个客户端分时占用服务器资源、对客户发出的数据进行解析,从而驱动与服务器相连接的 DSP 网络完成加载、调试等任务、并将数据反馈给客户端。

1.1 基于 cPCI 接口卡的多 DSP 测试系统

该测试系统方案如图 3,开发环境运行在带 cPCI 接口卡的 PC 机上,PC 通过 cPCI 接口卡的 LINK 口与多 DSP 目标系统连接,目标机上的 DSP 数目原则上不受限制。考虑到实时调试对接口卡的带宽要求,至少能满足 64 个节点 DSP 的

收稿日期:2007-11-22;修回日期:2008-01-29。

作者简介:贾杰(1972-),男,河南新乡人,博士,主要研究方向:飞行器制导、控制与仿真、测试技术;秦永元(1946-),男,江苏常熟人,教授,博士生导师,主要研究方向:惯性导航技术与卡尔曼滤波算法。

调试工作。软件系统版本分 SHARC、TS101 和 TS201。

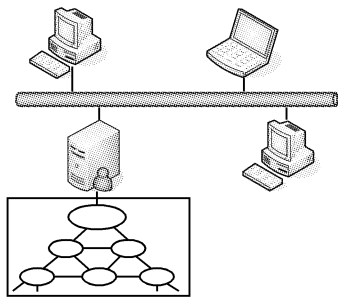


图1 系统环境结构(LAN)

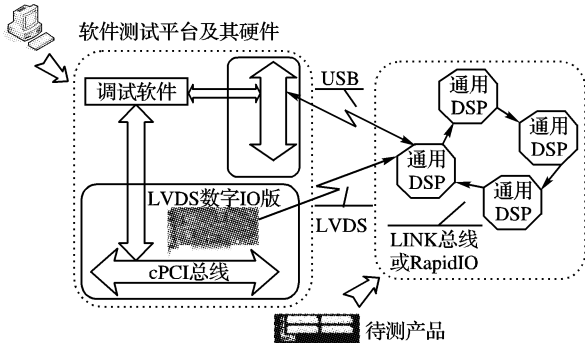


图2 测试系统平台的组成框架

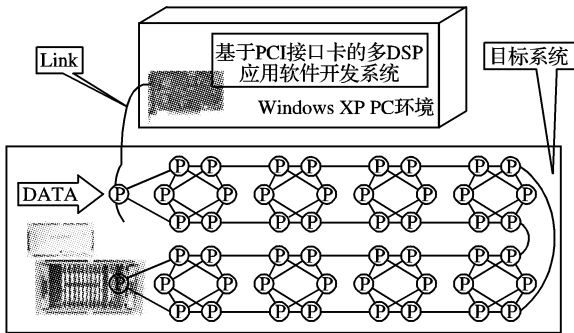


图3 基于CPCI接口卡的多DSP测试系统

1.2 基于USB-LINK转换器的多DSP测试系统

该测试系统方案如图4。开发环境运行PC机上,PC通过USB-LINK转换器与多DSP目标系统连接,目标机上的DSP数目原则上不受限制。考虑到实时调试对接口卡的带宽要求,至少能满足64个节点DSP的调试工作。软件系统分SHARC版本、TS101版本和TS101版本。

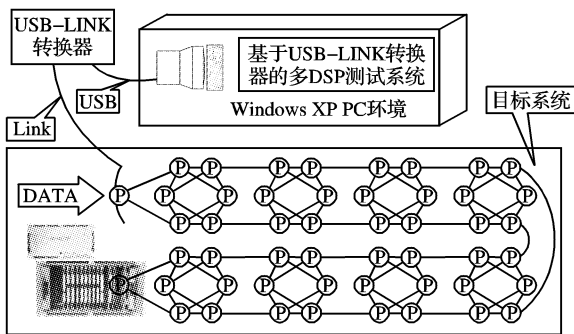


图4 基于USB-LINK多DSP测试系统

2 系统硬件结构设计

硬件具有安全保护措施,具有短路、过压、欠压、防插错功能,根据被测对象识别适配器,所有CPCI板卡均具有自检功能。

测试硬件平台:计算机采用台湾研华原装IPC-610工控计算机,其配置为研华IPC-610工控机箱,PCA-6007LV工

业主板/PCA-6114P8工业底板,P4 3.0 GHz,1 GB内存,250 GB硬盘,52XCD-ROM/键盘,光电鼠标,2个USB2.0接口。

基于CPCI通信板卡采用模块化设计,符合工业标准、具有良好的通用性、便于扩展和升级。通过选用不同的调试软件模块,可满足ADI公司的ADSP21系列,SHARC系列,TigerSHARC等构成的多DSP系统的开发要求。

CPCI通信板卡组成原理图如图5所示,该通信板卡由CPCI接口、高速数字信号处理器、FPGA和SDRAM等组成,其具体组成说明如下:

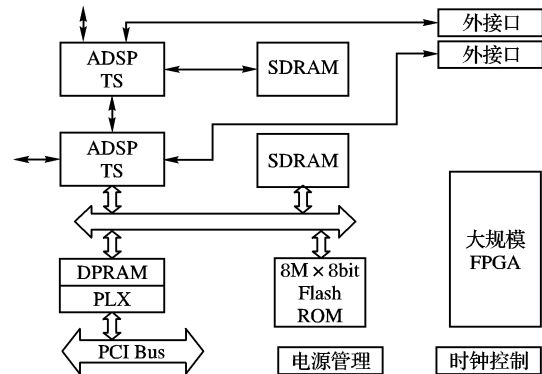


图5 基于CPCI通信板卡组成原理图

标准CPCI接口,其接口采用专用CPCI接口芯片(PLX公司的CPCI9054),满足CPCI协议2.1版。由两片高性能信号处理器虎鲨芯片TS101组成;采用双口RAM实现数据交换,使用两片Lattice公司的大规模FPGA设计桥接电路,实现各接口的逻辑转换。

该通信板不需要接目标机系统,可以在板上独立完成并行应用程序的开发与算法仿真验证工作。

3 系统测试软件功能设计

测试系统操作系统软件和应用开发软件平台均采用商用的货架产品,操作系统选用Windows 2000/XP,开发平台选用LabWindows/CVI和Visual C++相结合的方式。

测试系统具有DSP网络拓扑结构自动探测和自动检测、单节点及多节点应用程序加载、事后调试(数据/波形)、实时调试(数据/波形)、即时文本打印、软件示波器、EPROM编程、DSP虚拟文件系统、DSP扩展函数库等功能。

测试系统集成环境的界面是为用户所提供的的一个可视化的操作窗口,包括六个部分,如图6所示。

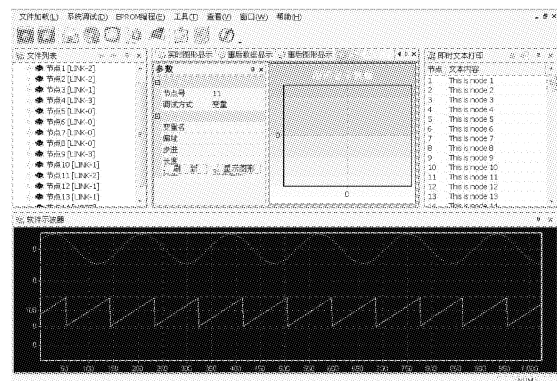


图6 总体性能测试系统的界面

菜单栏:包括系统加载、系统调试、EPROM编程、工具、查看、窗口和帮助七个子菜单。

工具栏:在工具栏中列出了常用命令的快捷图标,包括单节点程序加载、网络程序加载、事后/实时调试数据显示、事

后/实时调试波形显示、硬件模块 EPROM 编程、FN 文件编辑器和 EP 文件编辑器。

文件列表栏:文件列表栏中显示当前硬件环境中已经安装了 DSP 节点列表,以及该节点的加载 Link 号。当用户完成加载后,每个节点加载的文件名在列表栏中显示。

调试数据显示区:用户在事后/实时调试模式下,选择查看选定 DSP 中的某变量的值,并可限定变量的长度、偏移量、步进值、类型(定点或浮点)和显示格式(10 进制或 16 进制)、调试结果以数值或波形方式显示在调试数据显示区。

即时文本打印区:用户在实时调试模式下,在函数中调用打印函数时,打印的文本内容将显示在即时文本打印区内。

软件示波器区:提供了 4 通道软件示波器,每通道可同时容纳 4 路波形输出(以不同颜色区分),最多可以同时输出 16 路波形。

4 环境的主要功能

4.1 DSP 系统探测

客户端通过服务器将探测程序加载到与服务器共总线的 DSP 节点(以下简称“根节点”)中,探测程序采用“蠕虫”算法、通过 DSP 互连的 Link 通道不断将自身复制到其他节点上,并在“传染”其他 DSP 的同时对周围的 Link 连接状况进行检测,最终获得一张完整的 DSP 网络互连结构图。

4.2 DSP 程序加载

在基于 TigerSHARC 101S/201S 的 DSP 系统中,首先使用 AD 公司提供的编译软件 Visual DSP ++ 编写代码,并选择以 Host 方式或 Link 方式为系统中的每一个 DSP 节点分别生成一个加载文件(以 ldr 为后缀)。对于每个节点来说,是选择 Host 还是 Link 方式进行程序开发主要根据启动后探测到的硬件连接状态来确定,用户在主界面文件列表栏中可以很直观地看到每个节点的加载方式,如上图中显示“节点 3 [link1]”表示当前 DSP3 使用 Link3 进行 Slave 方式加载。

将这些加载文件载入到对应的 DSP 内核中,并在所有的 ldr 程序加载完成后提供同步机制,使 DSP 系统中的程序同时启动,避免了由于加载时间不一致所带来的系统时序混乱。

支持单节点和多节点的 DSP 程序加载,如图 7~8 所示。



图 7 总体性能测试系统单节点加载



图 8 总体性能测试系统—系统加载

可以实现仅加载和调试 DSP 系统中的某一个节点。在

这种加载模式下,只需指定待加载 DSP 的 ID 号和要加载的文件路径,就能自动完成加载。环境可以加载 DSP 网络中两个或两个以上的节点。在这种加载模式下,通过载入网络加载配置文件(以 .fn 为后缀)完成网络多节点程序加载。

4.3 实时调试

实时调试是环境最重要的功能之一,也是最复杂的软件功能模块。在实时调试模式下,将用户程序加载到网络节点中的同时,也将一个微内核程序加载到了 DSP 中,该内核以后台程序的方式驻留在每一个 DSP 中。

这个内核程序的功能是监视并控制网络中各节点之间的数据传递,当节点中的用户程序与其他节点交换数据时,内核程序将数据打包封装,形成“用户数据包”,并自动选择正确的端口发送。当用户通过主界面发出调试命令(如显示某 DSP 节点的某个变量值),或者直接在程序中调用提供的调试函数(如下文介绍的即时文本打印函数 printf() 和波形显示函数 displayWave()),内核程序都将生成“系统调试数据包”,并自动发送出去。接收数据包的工作也由内核程序接管;在接收到某个数据包后,内核程序会根据包中的信息确定是转发数据包还是对数据进行进一步的处理。

所有的数据包(“用户数据包”和内核程序生成的“系统数据包”)在网络中经过若干次转发后,均可以到达目的地。系统数据包最终由接收,并将其中所包含的调试信息以数据或图形的方式显示出来。只要指定目标节点及变量,调试信息就能以数据和图形两种方式自适应更新,这就是最具特色的实时调试。如图 9~10 所示。

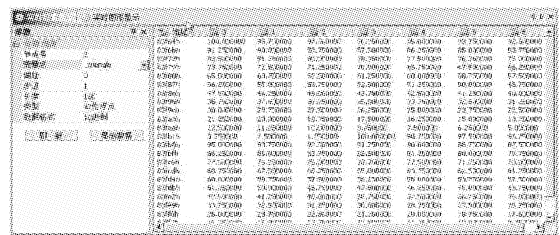


图 9 总体性能测试系统—实时调试(数据列表)

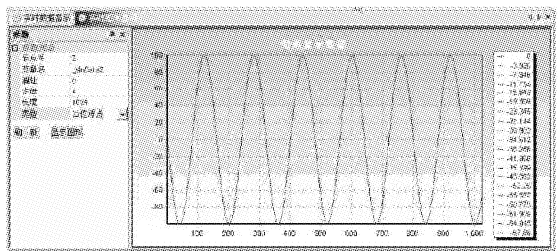


图 10 总体性能测试系统—实时调试(波形显示)

当选定节点号、变量名及其长度、偏移量、步进值、类型(定点、浮点)、数据格式(10 进制和 16 进制)后,点击显示数据按钮,将通过根节点将信息包发往 DSP 网络。信息包由实时调试微内核控制传递路由,最终到达目标 DSP,并将用户所需的数据打包送回界面。这样通过分析各 DSP 以及与其他节点相关联的数据,就能对各个节点以及整个网络运行过程中出现的非正常状况做出正确的判断,加快开发进程。用户可以选择以图形方式显示调试信息。

4.4 事后调试

事后调试的使用方法与实时调试完全相同,但实现机制完全不同。事后调试就是在某一瞬间复位目标机系统中的所有 DSP 节点,各 DSP 节点将保持在复位时的瞬时状态,即系统在同一时刻“凝固”。此时,用户可以选择任意一个 DSP 节

点,并察看任意全局变量(或任意指定地址)的值。

4.5 即时文本打印

环境提供了文本打印功能,可以将调试信息以文本方式直接在主界面上的即时文本显示区里显示出来。

提供的即时文本打印函数的接口形式为:

```
int TF_printf(const char * _fmt, ...);
```

即时文本打印函数的接口形式与标准 C 语言中的 printf() 函数完全相同,符合大多数 C 语言软件开发人员的习惯,调试方式简单直接。

4.6 软件示波器

环境提供了软件示波器功能。在主界面下方,有四个通道的软件示波器,每个通道支持 4 路波形输出,即同时支持 16 路定点和浮点波形显示,如图 11。

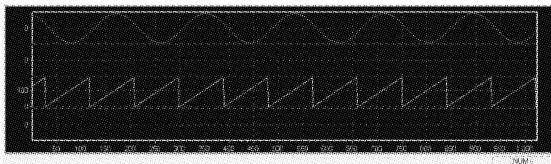


图 11 总体性能测试系统—软件示波器

提供的软件示波器函数的接口形式为:

```
void displayWave(void * data, unsigned length, unsigned channel,
    unsigned color);
void displayWave2();
void displayWave3();
void displayWave4();
```

4.7 虚拟文件系统 (STDIO 函数库)

STDIO 函数库是为了满足用户在开发过程中灵活地实时与客户端进行数据的输入和输出而设计的,由 DSP 调用函数,(通过服务器)将命令传递到客户端,由客户端在本地硬盘进行相应的文件操作,从而在 DSP 上实现了虚拟文件系统。STDIO 函数库使得用户的调试方式更灵活,调试过程透明化。文件操作使得用户可以直接与客户机进行文件读写,软件调试过程模块化,省去修订程序中的变量数据需要重新编译程序的麻烦,同时将数据直接记录成文件也使用户可以离线查看并分析程序的运行状态。

4.8 EPROM 编程

软件开发人员使用环境对应用程序调试完毕后,就可以将去掉调试语句的 Release 版本烧录到板载 EPROM 中。提供了在线 EPROM 烧录功能。



图 12 总体性能测试系统—EPROM 编程

4.9 DSP 扩展函数库

为配合完成实时调试、即时文本打印和波形显示等多种调试手段,同时在一定程度上封装 DSP 底层硬件细节,方便在 DSP 系统上进行的软件开发, YC612 系统软件提供了一个

DSP 扩展函数库,该函数库与 Analog Devices Inc. 提供的集成开发调试环境 Visual DSP ++ 配合使用,用户在 Visual DSP ++ 环境中编写程序时调用这个函数库中的函数。

DSP 扩展函数库目前提供了 156 个高效的函数接口,主要针对 TS101/201 平台。主要类别为:

- 1) 初始化:对系统状态、通信端口等系统资源进行初始化。
- 2) 指示灯控制:提供对 Flag 的设置、清除和翻转。
- 3) 定时器控制:提供操作定时器最常用的接口,包括定时器使能、定时器停止、设置定时器周期、获取当前定时器记数值、延时等。
- 4) 中断控制:提供操作 DSP 中断最常用的接口,包括全局中断使能/禁止、指定中断使能/禁止、中断服务程序安装、外部中断控制等。

5) Link DMA 通信:提供了功能全面的 Link DMA 通信控制函数;Link 口复位,Link DMA 数据传输设置,Link DMA 数据发送,Link DMA 数据接收,Link DMA 传输完成判断,Link DMA 传输完成等待。

6) 外部端口 DMA 通信:提供了全面的 External port DMA 通信控制函数。

5 结语

总体性能测试系统的研制目标是“通用型的 DSP 软件开发调试工具”,其主要特点是:

- 1) 适应于多种环境,实验室和外场环境使用同一种系统结构。
- 2) 适用于大规模 DSP 系统软件开发,对 DSP 节点个数没有限制。
- 3) 适用于移动 DSP 系统,开发主机与 DSP 系统通过网络进行连接,理论距离无限。
- 4) 使用灵活,开发人员可使用以太网中的任意一台机器进行开发调试。
- 5) 通用性强,可自动探测 DSP 的拓扑结构,并根据硬件状态自动调整软件设置。
- 6) 具备实时调试功能,且调试手段丰富,提供 5 种方式实时监测软件状态(实时数据显示、实时图形显示、即时文本打印、软件示波器和远程文件操作)。

参考文献:

- [1] 任丽香. TMS320C6000 系列 DSPs 的原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2000.
- [2] 王继红,颜伟成. 蠕虫算法在并行数字信号处理系统中的应用[J]. 计算机与数字工程,2001,29(4):48-51.
- [3] HUANG KAI, XU ZHI-WEI. Scalable parallel computers for self-adaptive signal processing[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 1996,13(4):50-66.
- [4] SIMON-KLAR C, FRIEBE L, KLOOS H, et al. A multi DSP board for real time SAR processing using the HiPAR-DSP 16[C]// Proceedings of the 2002 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium(IGARSS 2002). Washington, DC: IEEE Computer Society, 2002:2750-2752.
- [5] 刘莉,田翔,汪乐宇,等. 支持动态互连结构的模块化多 DSP 并行处理系统的设计与实现[J]. 仪表技术与传感器,2002,13(9):43-46.