

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.02.001

引用格式:何赞园,王凯,吉立新,等.基于 ATCA 架构的可重构通信处理机设计[J].电讯技术,2014,54(2):115-120. [HE Zan-yuan, WANG Kai, JI Li-xin, LI Hai-tao. ATCA-based Reconfigurable Communication Processor Design[J]. Telecommunication Engineering, 2014, 54(2):115-120.]

基于 ATCA 架构的可重构通信处理机设计*

何赞园**, 王 凯, 吉立新, 李海涛

(国家数字交换系统工程技术研究中心, 郑州 450002)

摘 要:随着数据通信的飞速发展,各种业务需求日益剧增,基于先进电信计算机架构(ATCA)平台,选择可重构的嵌入式系统处理机就显得非常有必要。结合 ATCA 架构的特点,选择 MPC8548E 处理器作为处理机,提出了基于 1000M 以太网和 PCI-E 数据交互的通信系统模型,设计并实现了一种可重构的通信系统处理机,为基于 ATCA 架构的电信产品提供了灵活的应用选择。测试结果表明,该处理机无论在电气特性方面,还是在数据的处理能力方面都达到了业内相对领先的地步。

关键词:数据通信;可重构通信处理机;先进电信计算机架构;双星型网络;虚拟局域网;PCI-E

中图分类号:TN919.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)02-0115-06

ATCA-based Reconfigurable Communication Processor Design

HE Zan-yuan, WANG Kai, JI Li-xin, LI Hai-tao

(China National Digital Switching System Engineering & Technological R&D Center, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: With the rapid development of data communications, a variety of business needs growing dramatically. Based on the ATCA (Advanced Telecom Computing Architecture) platform, it is very necessary to select the reconfigurable embedded system processor. According to the features of ATCA architecture, this paper selects MPC8548 as the processor, proposes a communication system model based on 1000M Ethernet and PCI-E data interaction, designs and implements a reconfigurable communication system processor, and provides flexible application options for ATCA-based telecommunications products. Test results show that the processor is industry-leading both in the aspect of electrical characteristics and in the aspect of the data processing capability.

Key words: data communication; reconfigurable communication processor; ATCA; dual star net; VLAN; PCI-E

随着数据通信业务的应用越来越广泛,为了缩短产品的开发周期,提高产品的性能,通信设备供应商越来越多地选择基于标准通信平台进行业务的开发和设计。全球 PCI 工业计算机制造组织 (PCI Industrial Computer Manufacturers Group, PICMG) 制定了一系列的协议^[1-2]来逐步完善和规划相应的设备平台应用设计标准。近年来,基于先进电信计算机架构 (Advanced Telecom Computing Architecture, AT-

CA) 平台的应用越来越广泛,该架构正在逐渐成长为新一代主流电信级模块化通信平台。

MPC8548E 是 Freescale 公司基于 PowerPC 架构的 PowerQUICC III 芯片,该芯片广泛应用于数据网络、电信通信以及无线网络中。借助 ATCA 平台丰富的数据接口和强大的数据交换能力,选择 MPC8548E 作为处理机,通过以太网交换机以及 PCI-E (PCI Express) 桥的设计应用,实现基于 ATCA 架

* 收稿日期:2013-07-01;修回日期:2013-11-28 Received date:2013-07-01;Revised date:2013-11-28

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2011AA010603)

Foundation Item: The National High-tech R&D Program (863 Program) of China (2011AA010603)

** 通讯作者:13513802510@139.com Corresponding author:13513802510@139.com

构的 MPC8548E 可重构系统,可充分发挥 MPC8548E 的效率,给用户提供一个扩展灵活、功能多样化、可重构的网络通信处理机平台。

1 ATCA 系统的特点

ATCA 系统采用点对点交换互连结构以实现高速数据传输。系统内部的各个节点板(Node)的接口信道均使用低压差分信号(Low Voltage Differential Signaling, LVDS)差分对,具有相同的电气特性,该信号可达到3.125 GHz,数据编码使用 8b/10b 编码机制^[1-2]。各节点板可根据需要安装在任意指定槽位,ATCA 平台各节点板的交换互连拓扑结构分为双星型、双双星型、和全网状^[1-2]3 种。ATCA 系统支持热插拔和冗余备份,此外还支持不同通信协议之间的互连,物理接口包括以太网和光纤传输、InfiniBand、RapidIO、PCI-E 等多种基于 LVDS 传输的高速信号。

ATCA 架构的不足之处在于基础成本较高,占用空间较大,设备管理和冷却供电都比较复杂,ATCA 系统更适用于大规模、集中式的电信应用。因此,基于 ATCA 架构构造一种接口可灵活扩展、功能可重构的通信系统处理机就显得很有必要,不但能够极大发挥 ATCA 平台效能,而且有效降低产品的投入成本,大大缩短开发周期。

2 系统通信模型的提出

电信级的通信平台通常采用主备的方式来提高设备的可靠性。基于 ATCA 架构的通信系统大多选择具有双星型网络拓扑的交换背板,在该网络拓扑的通信系统中,采用主、备用两块网络通信处理机,各自提供两个双星型的通信网络,一个是基于 Base 平面通信,一个是基于 Fabric 平面通信,通过主备用的网络拓扑应用提高设备的可靠性。系统中的节点板通过自身的 Base 和 Fabric 通道来完成与主备用网络通信处理机的信息交互。图 1 是一个典型的基于 ATCA 架构的双星型网络通信模型,包括主备用两个网络通信处理机,可以和所有节点板互连。网络通信处理机的 Base 通道采用 10/100/1000M Base-T 的以太网通信形式,Fabric 通道采用高速并串行和串并行转换器(SERializer/DESerializer, SerDes)接口(如采用 1000M Base-X 形态)完成数据通信,该接口信号符合 LVDS 的电气特性。

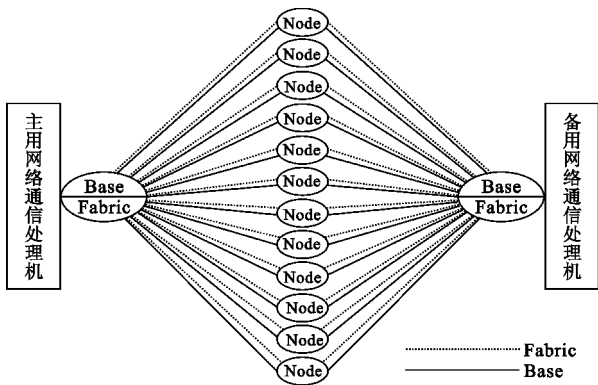


图 1 ATCA 系统双星型网络通信模型
Fig.1 Double-star network communication model for ATCA system

在节点板内部,通常采用符合 AMC(ATCA Mezzanine Card)^[1-2]规范的板卡实现节点板的业务扩展与重构,ATCA 和 AMC 规范定义了系统内部互连的标准也是基于 LVDS 传输的高速串行信号,如 InfiniBand、RapidIO、PCI-E 和以太网交换等。

基于 ATCA 架构的 MPC8548E 可重构通信处理机设计,采用以太网交换机实现了节点板和系统主备用网络通信的信息交互,通过虚拟局域网(Virtual Local Area Network, VLAN)的设置应用,提高了节点板的性能,扩大了处理机的应用范围,主处理器和 AMC 板卡协处理器的业务数据通过以太网交换机来实现,采用 PCI-E 桥实现了管理和业务数据的分离,有利于提高处理机的稳定性。根据以上内容,本文提出了如图 2 所示的通信系统模型。

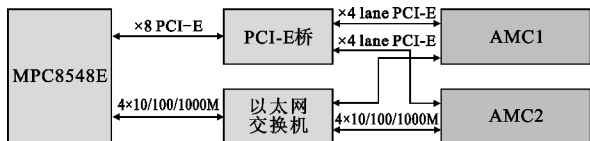


图 2 ATCA 系统 AMC 板卡的通信模型
Fig.2 The communication model of AMC board on ATCA system

3 基于 ATCA 架构的 MPC8548E 可重构通信处理机设计

3.1 MPC8548E 的最小系统设计

MPC8548E 是 Freescale 公司基于 PowerPC 架构的 PowerQUICCIII 芯片,内部集成有第 2 代的 e500 内核,该芯片提供一个双精度浮点运算的加速处理器(Accelerated Processing Unit, APU),512K 的两层缓冲,可提供 4 个 10/100/1000M 自适应的以太网口,集成一个双倍数据率同步动态随机存取存储器

(Double Data Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory, DDR SDRAM)/第 2 代双倍数据率同步动态随机存取存储器(Double Data Rate Two Synchronous Dynamic Random Access Memory, DDR2 SDRAM)控制器,最多可支持 64 b 的外设部件互连标准(Peripheral Component Interconnect, PCI)总线,最大可提供×8 的 PCI-E 以及×1 或×4 的 RapidIO 高速串行接口,另外还提供了丰富的输入/输出(Input/Output, I/O)接口以及两线式串行总线(Integrated Circuit, I²C)接口。

结合 MPC8548E 的网络通信处理能力,选择以太网交换机和 PCI-E 桥来实现该处理机和 ATCA 系统的主备用网络通信处理机的信息交互以及板载主处理机和 AMC 板卡的协处理机之间的数据交互,提出了如图 3 所示的通信模型。

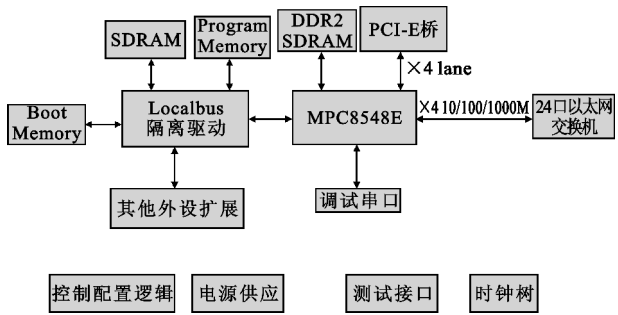


图 3 MPC8548E 通信系统模型

Fig. 3 The communication system model of MPC8548E

图 3 系统中, MPC8548E 的外围包括基于 DDR2 SDRAM 总线 1 024 MB 的 DDR2 SDRAM, 以及 Local Bus 总线的 64 MB SDRAM, 都可作为单板 CPU 的运行程序空间, 基于 Local Bus 总线设计的用于存储程序和数据的 16 MB 的 Flash, 以及 512 KB 的 Boot Flash, 同时系统中还需要实现 MPC8548E 网络通信功能的 4 个增强型的三速以太网控制器(enhanced Three-Speed Ethernet Controllers, eTSEC)通道的以太网接口, 通过以太网交换机交换实现与协处理器以及系统主备用网络通信处理机的数据交互, 通过 PCI-E 桥实现与 AMC 板卡协处理器的数据通信。该处理机内部其他部分还包括配置电路、时钟处理电路以及供电系统, 处理机的可重构性通过标准 AMC 板卡的扩展使用来实现。

该系统采用从 Local Bus 总线的 Boot Flash 的启动方式, 启动方式需要在 MPC8548E 的配置字方面进行相应设置。此 Boot Rom 的程序完成了对 MPC8548E 最精简系统的初始化, 实现 DDR2

SDRAM 的初始化、对各个片选访问方式的配置初始化, 以及以太网口基本功能初始化。CPU 完成引导后, MPC8548E 最小系统就可以运转, 通过串口可以对各个外设进行相应的访问与设置, 根据需要完成相应功能的基本测试。实际运行过程中, 需通过以太网口将相应的运行程序以及数据加载到 DDR2 SDRAM 中去, 完成整个系统程序和数据的更新以及固化操作。

3.2 处理机系统设计实现

典型的节点板在 ATCA 系统中应用时, 除了通过 Base 通道和系统主备用网络通信处理机通信交互管理消息外, 还有用于数据交互的两个 Fabric 通道(双星型 ATCA 系统)或 4 个 Fabric 通道(双双星型 ATCA 系统)。通常情况下, 业务功能板上可提供 1~4 个 AMC 板卡的扩展。本文设计的基于 ATCA 架构的 MPC8548E 通信系统处理机可作为 ATCA 系统中灵活应用的多种功能节点板使用, 提供的资源包括:

- (1) 提供两个标准 AMC 板卡位置, 每个 AMC 板卡支持 1 个×1 的 PCI-E 通道;
- (2) 提供 6 个以太网形态的通信信道, 作为通用的业务处理板, 完成系统中两个主备用网络通信处理机的管理平面(Base)和业务平面(Fabric)连接, 也可以应用于双双星型的系统中实现 4 个业务平面的数据交互;
- (3) 单板设计应用了 Vitesse 公司的 VSC7390 作为整个处理机单板的核​​心交换, 该芯片共提供 24 个以太网口, 连接单板各种端口, 可以根据应用灵活配置, 其中 8 个内置物理层(Physical, PHY)接口可直接支持 Base 格式的通信, 其余 16 个口可直接和支持串行吉比特介质独立接口(Serial Gigabit Media Independent Interface, SGMII)通信接口的芯片直接通信。综合上述系统的网络资源, VSC7390 的以太网口分配如图 4 所示。

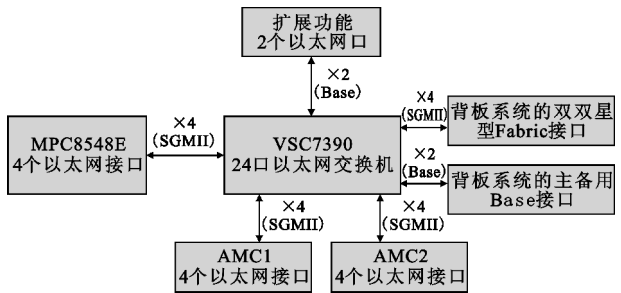


图 4 单板以太网交换网络分配

Fig. 4 Board ethernet switching network assignment

基于 VSC7390 的以太网交换网络,可提供以太网两层交换,具备 VLAN 的功能设置,利用 VLAN 功能,一方面可以降低网络的负荷,提高网络的效率,提高数据传输的安全性与灵活性;另一方面,可以降低主控制器的处理时间,提高整个通信网络的通信能力。VLAN 功能的应用是本文基于 ATCA 系统的 MPC8548E 的处理的一个显著特点。来自 ATCA 系统主备用网络通信处理机的数据可根据要求直接送达 AMC 板卡的协处理机,不需要经过 MPC8548E 预处理,这样可以大大提高单板处理机的处理效率,极大提高了单板处理数据的能力。

图 4 中,连接系统主备用网络的两个 Base 接口和两个扩展功能的以太网口直接采用 VSC7390 的自身集成 PHY 来完成,其他连接 MPC8548E 的 4 个网口、连接两个 AMC 扩展板卡的 8 个网口,以及连接 ATCA 系统背板的双星型网络的 4 个 Fabric 接口都采用 SGMII 的协议进行信息交互。

MPC8548E 的 4 个以太网口,其中两个为吉比特介质独立接口 (Gigabit Media Independent Interface, GMII),通过配置可设置为精简吉比特介质独立接口 (Reduced Gigabit Media Independent Interface, RMII);另外两个为 RGMII 接口,4 个网口均为内置 MAC 层,接口的协议遵循 RGMII 格式,无法直接和 VSC7390 的 SGMII 格式对接。在设计中使用 Vitesse 公司的 VSC8224(该芯片提供 4 个 RGMII 接口到 1000M Base-X 或者 1000M Base-T 通信格式的转换)将 MPC8548E 的 RGMII 接口转换为 1000M Base-X 的格式;选择 Vitesse 公司的 VSC8558 可以实现 8 PORT 的 SGMII 到 1000M Base-X 的转换,其中的 4 个 PORT 通过 VSC8224 实现和 MPC8548E 的通信;选择 VSC8558 的另外 4 PORT 来完成和系统背板的双星型网络的 Fabric 接口通信。

为了提高单板硬件资源的可重构性,ATCA 单板提供了和 AMC 板卡通信的以太网口,该网口的通信格式遵循 SGMII 格式,每个 AMC 板卡都提供 4 个 SGMII 接口。

3.3 以太网通信网络中 VLAN 功能的应用

在基于 MPC8548E 的 ATCA 单板系统中,通常的做法是使用 CPU 自身的 4 个以太网口,设计成双星型的交换架构,完成单板和 ATCA 系统背板的通信,采用 CPU 的 SRIO 或者 PCI-E 等高速串行通道

完成对数据的转发处理。这种应用方式的数据处理瓶颈是受限于 CPU 的处理能力,会增加 CPU 的消息处理负荷。在本文设计的系统中,数据在进入单板处理时,可根据相应的规则要求,通过 VLAN 功能的设置,完成数据包的指定转发,这样不但会减轻 CPU 的数据处理负荷,还会进一步提高单板的业务处理能力。通过 VLAN 的功能应用,可以将来自 ATCA 系统交换单板的业务数据流,根据规则要求灵活指定到 AMC1 或者 AMC2 的协处理机。通常情况下,AMC 可以很容易地实现系统功能扩展以及模块化设计应用,通过 AMC 模块的应用可以很方便地实现各种类似 CPU、DSP 模块、网络处理器(NPU)、存储模块,以及各种各样的 I/O 模块。通过 ATCA 单板 VLAN 的设置,可以直接将业务数据消息输送给 AMC 模块进行相应的处理,可进一步提高本文设计系统的多功能应用能力。

3.4 采用 PCI-E 通信格式实现控制

该处理机为了提高 MPC8548E 通信处理机扩展性能,提供较高的数据传输能力,设计应用了 PCI-E 的高速串行接口,数据连接的优先级和数据传输率可以预先确定。

系统中选择 IDT 公司的 89HPES8T5A 芯片,可提供 8 lane、5 个 PORT 的应用接口,可以完成 5 PORT 的基于 PCI-E 数据格式的交换,其中上联口为×4,下联口为×1。系统基于 PCI-E 格式通信的模型如图 5 所示。

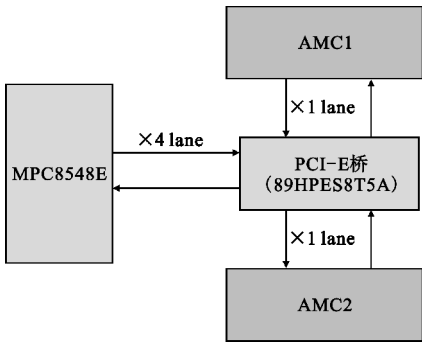


图 5 系统基于 PCI-E 通信模型
Fig. 5 Communication system model based on PCI-E

在实际应用过程中,ATCA 单板上 MPC8548E 作为该处理机的主处理器,可对 AMC 子卡进行管理,完成协处理器的程序更新、设备管理、日常维护等。PCI-E 通道除了可以完成控制消息的传送外,

也可进行业务数据的交互,通过 PCI-E 通道的设计,进一步扩展了该系统的应用范围。

3.5 MPC8548E 驱动的设计

MPC8548E 的通信系统处理机的驱动设计,除了完成主 CPU 的正常运行以外,还涉及到对 VSC7390、VSC8224、VSC8558、89HPES8T5A 等外设的管理,以及和 ATCA 系统处理机进行信息交互。

系统中所有外设芯片口都可以通过 MPC8548E 的管理来完成,进一步提高了单板作为多功能用途时的灵活性。VSC8224 作为 MPC8548E 自身的 PHY 设备,可通过 RGMII 接口的管理口来完成。通过 MPC8548E 的总线外设扩展,完成对 VSC7390 的控制,从而达到初始化设置以及 VLAN 功能的配置应用。VSC8558 作为 VSC7390 的 PHY 设备,可以通过管理口来完成相应配置;MPC8548E 通过 slave 接口的 SMBus(System Management BUS)总线来完成对 PCI-E 桥设备芯片 89HPES8T5A 的初始化配置。

MPC8548E 初始化 VSC8224 时,需要完成下面的关键设置:

```
// * PHY_ADDR_REG = 0x0017 ( PHY0 对应端口地址 );
// * PHY_CTRL_REG = 0x0002 ( 通过该操作可以实现对寄存器完成写操作 );
// * PHY_ADDR_REG = 0x0000 ( PHY0 的控制寄存器地址 );
// * PHY_CTRL_REG = 0x8000 ( 将 PHY0 设置为 1000M-BASEX 工作模式 )。
```

按照上述的操作,需要再完成另外 3 个 PHY 端口的初始化。

VSC7390 的初始化按照 MPC8548E 的 LOCAL BUS 的工作方式完成控制操作,CPU 通过 VSC7390 的管理通道(MDC 和 MDIO)完成 VSC8558 的初始化,将与 VSC8224 对接的 4 个端口的初始化,需要设置为 1000M-BASEX 的工作模式。

MPC8548E 的系统设计中,使用基于 PowerPC 处理器的 Linux 系统^[3]。该操作系统的显著特点是能够对所有基于 PowerPC 处理器系统进行支持,其中断处理子系统可支持信息处理中断计数(Message Processing Interrupt Count,MPIC)架构,使用的 Open Firmware 结构对 PowerPC 进行引导,使用本地存储器总线(Local Memory Bus,LMB)结构对 PowerPC 的内存进行管理,在其原有源代码结构上,添加了许多有利于 PowerPC 层次化的数据结构,可以让用户增加新的处理器平台。目前,Linux PowerPC 已经成为

一个稳定的、久经考验的系统解决方案,因此选择 Linux PowerPC 作为 MPC8548E 的操作系统。

4 系统完整性测试

基于 ATCA 架构的 MPC8548E 处理器的通信处理系统的设计实现,不但满足了 ATCA 平台的基本应用,还通过 PCI-E 桥以及可以设置 VLAN 功能的以太网交换机的应用,进一步拓展了该通信处理系统的应用范围。

设计实现中,通信处理系统的信号完整性尤为关键^[4-5]。使用 Tektronix 公司的 DPO5104 示波器对 1000M 以太网传输信号的电平特性进行测试,结果如图 6 所示。

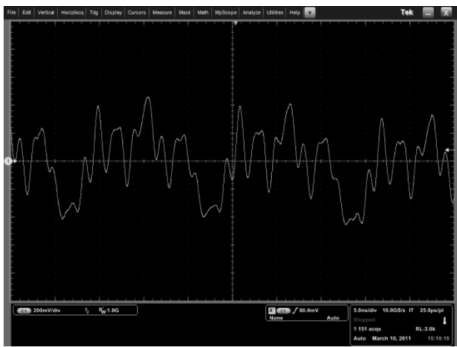


图 6 单板和系统背板的接口电平信号图
Fig. 6 The level signal diagram for the interface of board and system backplane

从图 6 中可以看出,所测量的信号符合 5 电平 4D-PAM 编码要求,对 4 个 1000M 以太网口的电平都进行了相应测试,结果表明都能够满足要求,从而证明系统设计保证了该单板的设计接口,符合 ATCA 系统背板的电气特性连接要求。

使用 SPIRET 公司的 Adtech AX/4000 Broadband Test System 对以太网的传输质量进行了测试,测试流程为测试仪通过连接系统的 BASE 平面的 1000M 以太网口满负荷发送数据包,数据包的格式为变长包,最小包为 78 B,最大包为 1 518 B,通过处理机上以太网交换机的 VLAN 设置对 MPC8548E 的处理能力以及 AMC 板卡协处理机的网络处理能力都进行相应的测试,在 CPU 内部和协处理机内部都将数据包直接环回,测试仪再接收数据包的个数和正确性,以此来判断是否符合相应的指标要求。测试结果如图 7 所示。

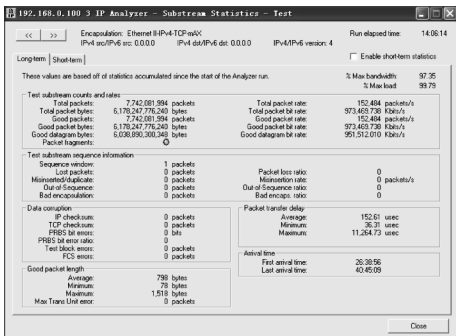


图 7 1000M 以太网性能测试结果截图

Fig. 7 The performance test result of 1000M ethernet

图 7 中,针对其中一个1000M以太网接口,测试时间为 14 h,测试仪发送的数据包个数为 7 742 081 934,字节总数为6 178 247 776 240。测试仪的接收端口到包的个数与字节数据的个数和测试仪发送的个数是相同的,这验证了相应的网络接口设计符合入网的标准,保证了使用的可靠性。

通过编写测试程序对 MPC8548E 的 PCI-E 进行环回测试,数据包的误码率、丢包率、时延等参数都能够满足系统通信的要求,系统接口进行 72 h 测试,无误码。

5 结束语

本文使用 MPC8548E 作为基于 ATCA 架构的通信系统处理机,选择具有 VLAN 功能的以太网交换机,给业务数据的处理提供了更多选择,通过 PCI-E 桥的设计应用,丰富了 AMC 板卡和 ATCA 单板的数据交互。通过这些功能的设计实现,使用 MPC8548E 不仅可作为通用处理机的通信系统应用,还可支持更为丰富灵活的应用,通过该网络通信处理机的设计实现,构建了一种可以实现多种业务应用的基础通信平台。在该单板上可以借用 AMC 标准板卡的接口实现 DSP 阵列的扩展应用,也可基于 AMC 标准板卡来扩展多种功能的数据协处理应用模式。目前,本文设计的基于 ATCA 架构的 MPC8548E 通信系统处理机已经在软交换通信处理平台中实现了主控处理机、信令处理机、媒体(包括语音、传真、视频等)处理机的广泛应用,并在增值业务服务器等方面也取得了成功应用。

随着大数据的业务需求出现,海量数据的处理对 CPU 的性能要求也越来越高,能否提供一个通用的处理机平台,通过简单的CPU部件的改进,直接

完成平台性能的提升,对于后续平台的设计实现会十分有益。

参考文献:

[1] PICMG^R 3.0, Advanced TCATM Base Specification (Revision 1.0) [S].

[2] PICMG 3.0, Short Form Specification [S].

[3] 王奇. Linux PowerPC 详解-核心篇 [M]. 北京:机械工业出版社,2008.

WANG Qi. Linux PowerPC Explain-Core [M]. Beijing: China Machine Press, 2008. (in Chinese)

[4] 陈志列. 基于 ATCA 的网络拓扑结构的研究 [J]. 测控技术, 2011, 30(3): 65-68.

CHEN Zhi-lie. Research of the Network Topology Based on ATCA [J]. Measurement and Control Technology, 2011, 30(3): 65-68. (in Chinese)

[5] 卫亮. 基于 ATCA 通信软件系统实施方案的研究 [J]. 微型电脑应用, 2011, 27(4): 1-4.

WEI Liang. Telecommunication Software Implementation Based on ATCA [J]. Microcomputer Applications, 2011, 27(4): 1-4. (in Chinese)

作者简介:



何赞园 (1975—), 男, 河南灵宝人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为计算机通信、网络安全;

HE Zan-yuan was born in Lingbao, Henan Province, in 1975. He is now an engineer with the M. S. degree. His research concerns computer communications and network security.

Email: 13513802510@139.com

王 凯 (1980—), 男, 河南许昌人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为信号处理;

WANG Kai was born in Xuchang, Henan Province, in 1980. He is now a lecturer with the M. S. degree. His research concerns signal processing.

吉立新 (1969—), 男, 江苏淮安人, 硕士, 研究员, 主要研究方向为信号处理、计算机通信、网络安全;

Ji Li-xin was born in Huai'an, Jiangsu Province, in 1969. He is now a senior engineer of professor with the M. S. degree. His research concerns signal processing, computer communications and network security.

李海涛 (1982—), 男, 山东泰安人, 硕士, 讲师, 主要研究方向为计算机通信、网络安全。

LI Hai-tao was born in Tai'an, Shandong Province, in 1982. He is now a lecturer with the M. S. degree. His research concerns computer communications and network security.