

一种多处理器异构系统设计与实现

刘品阳

(陕西省科学技术信息研究所, 陕西 西安 710054)

摘要:嵌入式系统是将应用程序和操作系统与计算机硬件集成在一起的系统,目前对嵌入式系统数据处理需求在不断提高,单纯依靠提高处理器的性能,来提高系统的实时性已经无法满足。提出了一种新的架构,在系统中使异构多处理器来保证实时性,采用并行技术,同样有助于提高系统的处理能力,再加上系统采用冗余备份,有助于提高可靠性,在设计中采用国产处理器,双机冗余备份及存储系统,动态热备份技术,对要求可靠性高、速度快的实时控制领域具有重要意义。

关键词:多处理器;异构系统;动态热备份

中图分类号:TP39

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)05-0179-04

Design and Implementation of a Heterogeneous Multi-Processor System

LIU Pin-yang

(Institute of Scientific and Technical Information of Shaanxi, Xi'an 710054, China)

Abstract: Embedded system integrated application, operating system and computer hardware. Currently rely solely on improving processor performance, to improve the system of real time has been unable to meet the needs of data processing of embedded system. Present a new architecture, the use of heterogeneous multi-processor to ensure real-time, parallel processing technology to improve the system, the use of redundancy to improve reliability. System used in the design of domestic processors, dual redundant hot backup and dynamic technologies, some of the requirements of high reliability, fast areas of real-time control is important.

Key words: multiprocessor; heterogeneous system; dynamic hot backup

0 引言

嵌入式系统是将应用程序和操作系统与计算机硬件集成在一起的系统。这种系统具有软件代码小、高度自动化、响应速度快等特点,特别适合于要求实时的和多任务的体系^[1]。随着嵌入式系统的不断发展,数据高速处理需求也在不断的增长。当前采用的计算机系统大多是单处理器、低主频的嵌入式计算机系统,难以满足大量信息处理的需求。

为了提高地面计算机系统的数据处理能力,关键技术有两种:提高单处理器的时钟频率,或者采用并行技术。由于嵌入式处理器芯片一般主频较低,即使有满足要求的高频率单处理器,但这样的处理器功耗较大,使得系统散热成为一个难以解决的问题,从而影响了计算机系统的可靠性。采用并行技术,同样有助于提高系统的处理能力,再加上系统采用冗余备份,有助于提高可靠性。文中详细介绍该系统的系统结构、存

储系统动态热备份技术^[2]。

1 嵌入式处理器类型

嵌入式微处理器是由通用计算机中的CPU演变而来的。它的特征是具有32位以上的处理器,具有较高的性能,当然其价格也相应较高。嵌入式系统是将应用程序和操作系统与计算机硬件集成在一起的系统。这种系统具有软件代码小、高度自动化、响应速度快等特点,特别适合于要求实时的和多任务的体系。嵌入式设备是指应用了嵌入式系统的计算机设备。目前主要的嵌入式处理器类型有ARM/StrongARM、MIPS、68000、Power PC、SC-400、386EX、Am186/88系列等^[1]。

2 国外高性能多核通用CPU发展现状

目前,国外通用CPU芯片大致可以分为高性能多核通用CPU、低成本电脑用CPU两大类,这里分析了高性能多核通用CPU芯片。多核CPU通过在单芯片上集成多个处理器核来提升性能,可以有效利用片上海量晶体管资源,成为高性能通用处理器的发展主

收稿日期:2010-12-24;修回日期:2011-03-21

基金项目:陕西省“13115”科技创新工程重大项目(2008ZDKG-33)

作者简介:刘品阳(1957-),女,副研究馆员,研究方向为计算机应用。

流^[2]。下面主要介绍 AMD 公司,AMD 公司在科研人员的创新下,于 2004 年推出了双核 Opteron。双核 Opteron 片内集成 2 个 K7 处理器核,每个处理器核有独立的二级 Cache,通过 Crossbar 互连处理器核和系统接口,片内集成内存控制器,集成 3 个 HyperTransport 接口。AMD 公司经过两年不断努力,在 2007 年又推出 4 核处理器 Barcelona,其结构是增加了一个 4 核共享的 2MB 的三级 Cache。采用 65nm 工艺,晶体管数量为 4.63 亿,主频为 2.2~2.8GHz,功耗为 95W。在接下来的几年里,不断改革,不断总结,连续几年推出新产品,在 2008 年推出代号为 Shanghai 的 4 核 Opteron 皓龙处理器,并采用 45nm 工艺,片上集成了 7.05 亿晶体管,共享 6M 的三级缓存,增强的双通道内存控制器支持 DDR2/DDR3 内存。2009 年下半年 AMD 又推出代号为 Istanbul 的 6 核心 45 纳米 Opteron 处理器,该处理器是 Shanghai 处理器的升级版,Barcelona、Shanghai 和 Istanbul 处理器的管脚相互兼容。AMD 将于 2010 年推出 8 核到 12 核的 Magny-Cours 处理器,采用 45 纳米工艺,在今年将要推出 12 核到 16 核的 Interlagos 处理器,采用 32 纳米工艺,片上将集成 4 个内存控制器和 4 个 HyperTransport 控制器,支持 HT3.0 和 DDR3,支持直接互连构架。如此看来,随着嵌入式处理器计算功能增加,外围接口也越来越多,人们对嵌入式系统的要求也不断提高,这使得基于嵌入式系统的应用软件也越来越复杂。

3 国内通用 CPU 发展现状

十五期间,在国家的大力支持下,我国在通用 CPU 研制方面取得群体性突破,在单核处理器的设计方面达到世界先进水平,研制出包括中科院计算所“龙芯”、国防科大“X 处理器”、北京大学“众志”等 CPU 产品。目前,中科院计算所正在进行多核通用龙芯 3 号和低成本电脑用芯片龙芯 2G/2H 的研制;国防科大主要进行多核通用 CPU 的研制;北京大学主要进行低成本电脑用芯片的研制。如中科院计算所“龙芯高性能通用 CPU”。

中科院计算所从 2001 年开始从事龙芯系列高性能通用 CPU 研制,先后成功研制龙芯 1 号、龙芯 2 号、龙芯 2E/2F 多款芯片。龙芯 2E 兼容 MIPS 指令集,采用 90nm 工艺设计,主频达到 1GHz,具有低功耗(5~8 瓦),高安全特点,SPEC CPU2000 的定点/浮点实测分值均达到 500 分,性能与中档的 Intel P4 处理器相当。龙芯 2E 在单处理器设计方面已达到国际先进水平。龙芯 2E 是当时世界上除美日之外性能最高的通用处理器,是中国大陆地区第一个 90 纳米工艺的处理器设计。龙芯 2E 授权给意大利、法国半导体公司生产销

售,这是我国首次将高端芯片设计技术授权给国外著名半导体企业。龙芯 2E 的后续版本龙芯 2F 采用 SoC 架构,集成度更高,片内集成了龙芯 2 号、DDR2 内存控制器、PCI/PCIX 控制器、Local IO 控制器等重要 IP,大幅度降低了系统成本,降低功耗和提高性能。目前,龙芯 2E/2F 已经销售 10 多万片,主要用于低成本电脑、安全网关和高端路由器、高端嵌入式设备等桌面级计算能力领域。

若嵌入式多处理器系统采用普通的对称式多处理器系统,则传回来的数据包需要在系统的调度算法的控制下分发给各数据处理器,调度算法的使用会占用一定系统资源,且实现起来代价很高。而添加了数据控制处理器后,各处理器还是于对称的地位,只是具体分工不同。数据控制工作, I/O 处理全部由控制处理完成,这样可以使各数据处理器专心处理数据包,且不需要调度算法,实现起来开销更小,效率更高^[3]。文中所设计的嵌入式多处理器系统的结构如图 1 所示(以双处理器为例)。

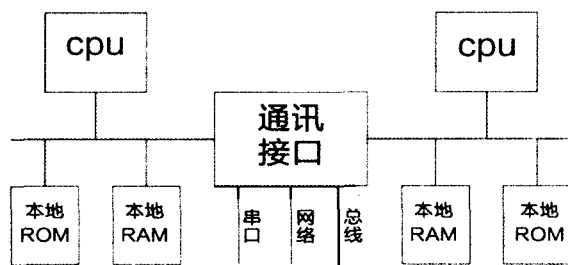


图 1 双处理器嵌入式体系结构图

数据处理器(采用高性能处理器)仅负责数据的处理,在大多数任务情况下,其工作并不饱满,此时处理器处于休眠状态,可以有效地降低整个嵌入式系统的功耗,散热的处理也相对简单。

4 动态热备份技术

为提高系统的可靠性,一般采用冗余设计技术,冗余设计技术一般分为工作冗余与非工作冗余两大类,无论是工作冗余还是非工作冗余都能显著提高系统的可靠性。但是冗余系统结构也有它自己的局限性。一是需增设故障检测与切换开关,既增加了费用又受检测与切换开关可靠性的影响;二是切换需要一定的过渡时间,这会影响到为用户提供不间断的服务,如实时控制、连续计算等。

存储系统中包含重要的系统控制数据,并记录了所有计算数据、文电信息,需要很高的可靠性及实时性。为保证系统实时性要求,需要实现冗余系统的数据平滑切换。针对此种情况,对存储系统采用动态热备份的方法实现^[4]。

嵌入式系统运行所需的数据、计算结果等均保存在存储系统中,在单机系统中可采用简单的数据备份的方法实现。在多机冗余的系统中,存在以下一些问题:如何保持主从存储器间的状态协调正确,任何时候均应确保系统中只有一个存储器处于主状态;当存储器不能正常运行时如何确定存储器的主从;主从之间数据应如何备份等。针对这些问题,提出了如下的设计方案。

存储系统中有一存储器为主状态,其余存储器为从状态,存储器的状态不能改变,每台主机均可访问所有的存储器,通过 COMS 的设定来保证存储器的状态不能更改。主从存储器一直处于待机状态,对主机来说,可以访问主存储器及从存储器,当主机故障切换到从机后,从机也可以访问主存储器及从存储器。这样就解决了主从存储器间的状态协调,确保任何时候系统中只有一个存储器处于主状态。当主机出现故障切换到从机后,主机仍可以访问主从存储器,当主从存储器任一出现故障时,仍有存储器可以访问,无需重新设定主从^[5]。

当主存储器出现故障时,计算机系统切换到从机工作,系统可以从某一时间点重新运行,采用合理的备份方式,例如数据文件级备份、增量备份等方法,可以有效地实现数据平滑切换,计算机系统可以从某一时间点继续运行,将切换带来的时间损耗降到最低,有效地提高了系统的实时性。

采用动态热备份具有可在数据文件级备份,备份时间短,备份时存储系统仍可使用,可达到快速恢复(恢复到某一时间点上),可对几乎所有数据作恢复,快速恢复等优点。相对采用此方案增加的技术复杂度以及成本而言,此设计带来的优点远远大于缺点^[6]。

5 设计实现

国内目前已有自主知识产权的微处理器“龙芯”,龙芯 2F 芯片是由神州龙芯公司推出的基于 MIPS 架构的精简指令集微处理器,主频最高可以达到 1GHz,功耗低(仅 15 瓦左右),是目前国内可以投入使用的微处理器中性能最高的。但值得注意的是龙芯 2F 处理器处理能力对大运算量的数据处理不能满足要求^[7]。

由于国产龙芯 2F 处理器硬件本身数据处理速度的限制,难以满足高速数据处理的要求,无法保证实时性,处理器的信息处理能力严重影响了整个嵌入式系统的性能。针对这些特点,设计了基于嵌入式国产龙芯 2F 处理器的多处理器冗余系统^[8]。

计算机采用双处理器方案,国产龙芯 2F 处理器与 POWERPC 8641D 构成一个非对称处理器的计算机系

统,8641D 为双核处理器,其本身构成一个对称处理器的计算机系统。龙芯 2F 处理器与 POWERPC 处理器间的通讯采用通用串口的方式实现,且以太网作为备份的通讯方式。系统结构框图如图 2 所示。

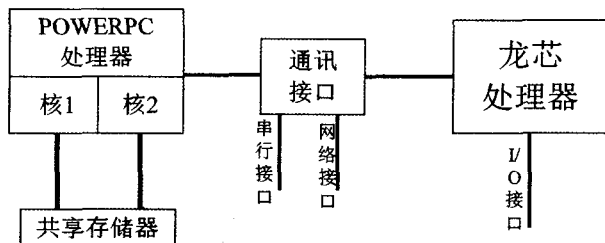


图2 嵌入式计算机系统结构图

系统中 POWERPC8641D 处理器用来进行数据的处理。龙芯处理器作为控制处理器存在,完成数据流控制、系统的 I/O、辅助决策与通信管理等功能。由龙芯处理器通过通用串行接口提供计算数据及控制命令给 POWERPC 处理器,数据的运算由基于同构环境的调度算法分配到 POWERPC 处理器的不同内核中,保证计算的时限要求,处理结果返回龙芯处理器。这样,可以将数据处理与控制处理、I/O 运算并行进行,满足系统计算能力的要求,同时非对称的多处理器架构,可以保证 POWERPC 处理器不会一直满负荷工作,在计算结束后即可处于睡眠状态,有效地降低系统的功耗及发热量^[9]。

为提高嵌入式计算机的可靠性,采用冗余备份的方法实现此系统^[1]。考虑到小型化,采用双机冗余的方法实现,即将两台嵌入式计算机集成在一个机箱中来实现双机冗余备份^[10]。其功能框图如图 3 所示。

在同一时刻只需要一台计算机工作,一旦工作的计算机出现故障,可通过切换备份机来继续运行任务,可以节省更换备机的时间。其功能框图如图 4 所示。

由于 A 机或 B 机工作时,各自的主板都要能够访问两个硬盘,因此两个硬盘必须一直连通(有主、从之分),通过切换电路将硬盘信号与不工作的主板隔离。当 A 机工作时,通过 HD_A 启动操作系统,B 机工作时,通过 HD_B 启动操作系统,这样可防止硬盘数据损坏带来的故障。HD_A 及 HD_B 通过合理的备份方式,例如数据文件级备份、时间点备份等可以有效地提高系统切换引起的降低的实时性^[11]。

6 结束语

嵌入式计算机的设计是一个具有挑战性的研究领域,涉及到计算机领域的前沿工作^[12]。嵌入式处理器是一个复杂的高技术系统,要在短时间内掌握并开发出所有功能是很不容易的,文中提出了采用嵌入式国产多处理器异构计算机系统方案,并对其动态热备份技术做了详细说明。采用嵌入式国产多处理器技术可

