

龙芯 3A 平台 Vxworks 移植的研究和实现

王 雷, 樊晓桢, 王党辉

(西北工业大学 计算机学院, 陕西 西安 710129)

摘 要: 龙芯 3A 处理器具有高性能低功耗的优点, 在高性能计算、个人桌面应用、工业控制、高性能嵌入式等领域都有广阔的应用前景。目前龙芯系列平台大都是基于 Linux 系统, 但在工业控制、高性能嵌入式等领域, 高实时性和高可靠性的 VxWorks 才是比较理想的选择。在分析了 VxWorks 移植的主要内容基础上, 详细研究了龙芯 3A 的 VxWorks 移植方法。针对具体工业应用, 设计了一种基于龙芯 3A 的工控平台, 并实现了对该平台的 VxWorks 移植。经过在龙芯 3A 开发板上的验证是可行的。

关键词: 龙芯 3A; VxWorks 系统; 板级支持包 BSP; 系统移植

中图分类号: TP316

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)02-0086-05

Research and Implement of VxWorks Porting Based on Loongson3A Hardware Platform

WANG Lei, FAN Xiao-ya, WANG Dang-hui

(School of Computer Science, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

Abstract: Loongson3A processor has the advantages of high performance and low power consumption, which has broad prospects in high performance computing, personal desktop applications, industrial control, and high performance embedded fields. At present, Loongson series platform is mostly based on Linux. But in industrial control and high performance embedded fields, VxWorks is the ideal choice, which is high real time and high reliability. Based on the analysis of the key contents of VxWorks porting, this paper researched the VxWorks porting approach of Loongson3A. According to the specific industrial application, designed a kind of Loongson3A industrial control hardware platform, and implemented VxWorks porting on this platform. It is feasible by verified on Loongson3A development board.

Key words: Loongson3A; VxWorks; board support packet BSP; system porting

1 引言

龙芯系列处理器是中国科学院计算所自主开发的国产处理器系列, 龙芯 3A 是其最新一代的 64 位多核处理器。龙芯 3A 基于 RISC 架构, 兼容 MIPS 指令, 原生 4 核设计, 采用 65 nm 工艺, 晶体管数目 4.25 亿个, 最高工作主频 1 GHz, 单颗龙芯 3A 的最大功耗为 15 W^[1]。龙芯 3A 在包括服务器、高性能计算、个人桌面应用、工业控制、数字信号处理、高端

嵌入式应用等产品中都具有广阔的市场应用前景。

现有的龙芯平台大都基于 Linux 操作系统, 但是在工业控制、高性能嵌入式等领域, 对实时性、定制性的要求很高, 因此 VxWorks 系统才是比较理想的选择。

本文主要分析了 VxWorks 移植的主要内容, 研究了龙芯 3A 的 VxWorks 移植方法, 实现了一种用于工业控制领域的龙芯 3A 平台的设计, 并对其进行了 VxWorks 移植。

收稿日期: 2011-05-08; 修回日期: 2011-07-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(61003037, 60736012); “核高基”国家科技重大专项课题(2009ZX01028-002-003)

2 VxWorks 移植分析

2.1 VxWorks 移植的主要内容

VxWorks 主要由三大部分组成:板级支持包 BSP、微内核 Wind 及输入输出系统,如图 1 所示.板级支持包 BSP 在硬件与微内核 Wind 之间提供了统一的接口,包括硬件初始化、中断处理、时钟管理、内存地址映射、实时内核载入等.将 VxWorks 移植到龙芯 3A 平台上,主要就是完成龙芯 3A 平台的板级支持包 BSP 的开发.

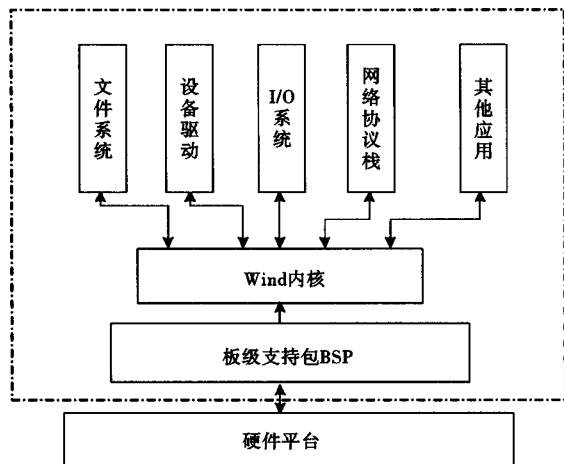


图 1 VxWorks 结构组成^[2]

开发 BSP 一般有两种方式:一是使用 Wind River 官方支持或者第三方支持的 BSP;二是建立自己的 BSP 以支持特定硬件.对于龙芯 3A 来说,由于这方面的支持度较少,加上可能某些硬件设备比较特殊,因此通常需要自己建立龙芯 3A 专用的 BSP.

通常情况下 BSP 开发的流程是,先实现一个最小化的 Vxworks 内核,向其中添加定时器、串口设备、中断控制器等基本驱动程序,使得 Vxworks 系统基本可用,然后在此基础上添加其他设备,最终满足目标需求.本文进行龙芯 3A 平台的 BSP 开发也是基于该流程.

2.2 板级支持包 BSP 的组成

通常情况下,BSP 的组成文件主要包含在以下四个目录里面^[2].

(1) InstallDir\target\config\all

该目录下的文件包括 bootConfig. c、bootInit. c、usrConfig. c、configAll. h 等.这些文件主要是定义了所有 VxWorks 的默认公共配置以及 BootROM 的初始化代码.这些文件作为 VxWorks

体系结构产品的一部分而给出,是所有 BSP 的公共部分,一般无需修改.

(2) InstallDir\target\config\comps\VxWorks

该目录下的文件是 VxWorks 事实内核的基本组建描述文件(CDF 文件).一般也无需修改.

(3) InstallDir\target\config\comps\src

该目录下的文件是与内核基本组件相关的配置文件.

(4) InstallDir\target\config\bspname

该目录下主要包括了 Makefile、config. h、romInit. s、sysALib. s、sysLib. c、sysSerial. c、bspname. h 等文件.这些文件是与具体系统或者硬件相关的 BSP 文件,主要是目标板上的外设的驱动文件、以及设备和 VxWorks 系统接口文件.本文移植工作的重点就是该目录.

其中,config. h 文件包含了具体 CPU 板的所有包含文件和定义,主要包括 BSP 版本 ID 信息、缓存和 MMU 配置、RAM 和 ROM 的地址和大小、默认引导参数、网络设备和中断向量、外部总线地址映射等;romInit. s 包含了用于初始化的汇编语言源代码;sysALib. s 包含了 VxWorks 映像的入口点 sysInit;sysSerial. c 包含了所有串口设备驱动器的设置和初始化. Makefile 文件用于编译创建映像文件. VxWorks 使用 GNU make 工具来重新编译和连接模块,Makefile 包含了整个 BSP 编译、链接、生成二进制文件的过程. bspname. h 主要是具体硬件平台的参数配置头文件,文件名称可以自定义.该文件包括具体硬件平台所有硬件的参数,如 CPU 寄存器、系统中断号、端口地址、接口配置等.

2.3 VxWorks 映像分类

开发完成的 BSP 经过编译链接,可以生成的 VxWorks 映像有两类:一种是可加载的 VxWorks 映像;一种是可引导的 VxWorks 映像.前者需要固化在 Flash 中的 BootROM 加载到 RAM 中运行,一般在调试阶段通过串口或者网络下载到目标机中运行.后者是 BootROM 和 VxWorks 融合在一起的映像,通常是调试开发完成后的最终产品.

3 龙芯 3A 平台的 VxWorks 移植

3.1 龙芯 3A 平台设计

本文所涉及的龙芯 3A 平台用于工业控制领域,主要功能是分析采集到的数据,并根据分析结果对外发出控制命令,同时将采集到的数据和处理结果实时备份.该平台主要硬件由龙芯 3A 处理器、

DDR2 内存、BootROM、Flash 盘、FPGA 组成,如图 2 所示. 通电后,BootROM 初始化并启动整个系统;龙芯 3A 通过自带的 UART 口接收外部传感器采集的数据,对接收到的数据进行分析处理,并通过另外的 UART 发出控制命令;Flash 盘通过 FPGA 与龙芯 3A 的 PCI 总线连接,保存采集到原始数据和处理后的数据. 其中 FPGA 主要完成时序转换、读写控制等功能.

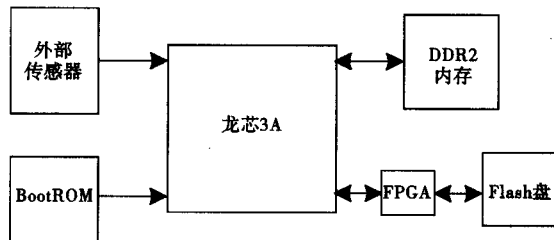


图 2 龙芯 3A 平台结构

3.2 建立龙芯 3A 平台的 BSP 工程

实现龙芯 3A 平台的 BSP 开发,首先需要新建一个 BSP 工程. 首先打开 Tornado,新建一个工程 Loongson3A. 由于没有现成可用的 BSP,可以根据用户的硬件配置选择一个近似的 BSP 模板,如 rbt4938_mips64 等等,然后在此基础上添加需要的语句和文件,删除无用的语句和文件,最终形成自己的 BSP 工程.

3.3 龙芯 3A 平台 BootROM 设计

在龙芯 3A 平台上电之初,由于 RAM 未初始化处于不确定状态,系统初始化引导程序只能存放在非易失性的介质,例如 Flash 芯片中,构成启动 ROM.

对于龙芯 3A 平台来说,使用较多的初始化引导程序有两种. 一种是龙芯系列专用工具 PMON,一种是 VxWorks 的开发工具 Tornado 自带的 BootROM. 两者各有优缺点,PMON 设计与调试较为复杂,但是功能比 BootROM 强大;BootROM 简单易用,但功能上不如 PMON. 由于 Tornado 自带的 BootROM 与 VxWorks 联系紧密,而且可以制作可加载的 VxWorks 映像和可引导的 VxWorks 映像,同时本文的硬件环境较简单,因此用它作为初始化引导程序.

3.3.1 BootROM 硬件连接

龙芯 3A 与 BootROM 之间是通过 LPC 总线连接. LPC 中的 LPC Boot 地址空间是龙芯 3A 系统启动时处理器最先访问的地址空间,其物理地址范围

0x1fc00000-0x1fd00000. 对于龙芯 3A 来说,如果系统设置成从 PCI 地址空间启动,则第一条指令的 PCI 物理地址必须是 0x1fc00000,否则系统将从 LPC 总线的 ROM 空间 0 地址处开始取指^[1].

龙芯 3A 的 LPC 启动 Flash 支持 4 Mbit 和 8 Mbit 两种规格,通过 LPC 总线上的 L_8 MBits 信号进行选择. 为了能够存储 BootROM 及 VxWorks 映像,Flash 芯片的型号选择了 SST49LF080A^[3]. SST49LF080A 是专门用于存储系统固件的 LPC 接口的闪存芯片,存储空间大小为 8 Mbit (1 Mbit × 8). SST49LF080A 符合 1.0 版 LPC 接口规范,支持两种操作模式,一种是 LPC 模式(LPC),一种是并行编程模式(PP). LPC 模式通过 LAD[3:0]和 LFRAME# 进行系统内操作,PP 模式通过 A[10:0]和 DQ[7:0]实现编程操作. 本文中,通过将 MODE 信号设定为逻辑低,使用 LPC 模式实现系统正常启动,如图 3 所示. 需要注意的是,作为启动设备,ID[3:0]必须为 0000.

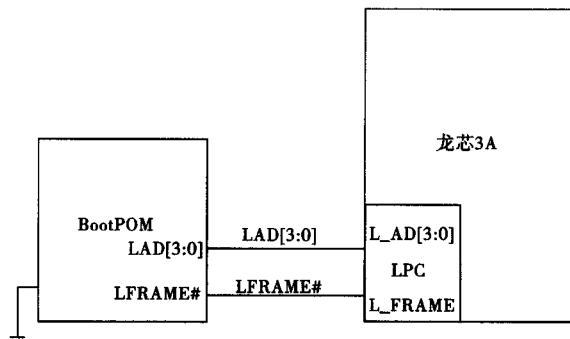


图 3 龙芯 3A 与 BootROM 连接方式

3.3.2 加载 VxWorks 内核

为了能够在龙芯 3A 平台上启动 VxWorks,需要自定义一些启动信息. 在 BSP 开发包的 config. h 文件中包含了 DEFAULT_BOOT_LINE 的定义,包括确定启动装置的参数,主机和目标机 IP 地址,要装载的 VxWorks 映像的路径和名称等.

龙芯 3A 集成了 2 个 UART,在 BSP 开发的调试阶段,可以使用串口下载 VxWorks 映像并启动,修改为如下形式:

```
#define DEFAULT_BOOT_LINE \
"tsfs(0,0) host:VxWorks h=169.254.2.67 e \
= 169.254.2.68 u = Loongson3A pw = Loong- \
son3A tn=target"
```

其中启动设备 bootDev 为 tsfs,表示使用目标机代理文件系统连接,利用 Tornado 的目标服务器

指定串口下载 VxWorks 映像. h 和 e 分别表示主机 IP 和目标机 IP, u 和 pw 分别表示用户名和密码. 若龙芯 3A 平台上有网络设备, 还可以指定 bootDev 为网卡型号通过网络方式下载.

最后当调试完成, 形成最终产品时, 可以制作可引导的 VxWorks 映像, 此时 BootROM 与 VxWorks 映像融为一体, 直接烧写在 Flash 固件中即可启动 VxWorks, 无需再通过串口、网络等方式下载.

3.4 龙芯 3A 平台的 BSP 开发

3.4.1 BSP 开发与设置

BSP 中的 config. h 文件涵盖了龙芯 3A 的所有包含文件和定义, 需要首先对其修改. 修改 config. h 文件如下:

```
#define ROM_BASE_ADRS 0xbfc00000
#define ROM_TEXT_ADRS 0xbfc00000
#define ROM_SIZE 0x00100000
#define RAM_HIGH_ADRS 0xbfd00000
#define INCLUDE_SERIAL
#define NUM_TTY 2
#define CONSOLE_BAUD_RATE 115200
```

其中, ROM_BASE_ADRS 表示 ROM 的基地址, 龙芯 3A 平台 BootROM 的起始物理地址是 0x1fc00000, 转化为逻辑地址为 0xbfc00000. ROM_TEXT_ADRS 表示初始化启动代码存放在 ROM 中的起始地址, 同样为 0xbfc00000. ROM_SIZE 表示 ROM 的大小, 本文使用的 SST49LF080A 芯片存储空间大小为 8Mbit, 因此为 0x00100000. RAM_HIGH_ADRS 表示复制 BootROM 到 RAM 所使用的目标地址, 本文设定为 0xbfd00000. RAM_LOW_ADRS 表示 RAM 中的 VxWorks 运行的起始地址, 可根据自己的内存大小设置. NUM_TTY 表示串口数量, 本文中龙芯 3A 平台需要两个使用 UART 口. CONSOLE_BAUD_RATE 表示波特率.

接着需要修改龙芯 3A 平台的头文件 Loongson3A. h, 根据设计参数, 修改其中的寄存器配置定义、系统中断号、端口地址、接口配置等.

此外还要修改 Makefile 文件, 如 CPU 类型号, 选择编译工具, 附加编译选项等:

```
CPU=MIPS64
TOOL=diab
TARGET_DIR=Loongson3A
```

注意要保证 Makefile 和 config. h 中 ROM 和 RAM 宏定义中地址一致, 此外还要除去一些无关模块的引用等.

3.4.2 驱动程序开发与配置

在将 VxWorks 移植到龙芯 3A 平台的过程中, 很重要的一步就是设备驱动程序开发和配置. 对于普通通用设备, 可以直接添加 BSP 提供的普通驱动程序, BSP 工具包在 target/src/drv 目录下提供了大量普通驱动程序的源代码. 在编译阶段, sysLib. c 可从 target/src/drv 中复制这些普通程序. 如果对于特殊非通用设备, 必须创建一个 BSP 专用的驱动程序, 存放在 BSP 专用目录下.

龙芯 3A 平台的启动过程中, 需要对串口设备初始化. 普通多模式串行驱动程序存放在 target/src/drv/sio 目录下. 此目录中包括了很多常见的串口设备的驱动源文件, 如 i8250Sio. c (intel8250) 和 ns16550Sio. c (NS 16550) 等等, 同时还包含了 templateSio. c 模板文件. 龙芯 3A 中的 UART 串口设备兼容 NS 16550, 因此可以直接使用 ns16550Sio. c 作为串口驱动. 如果需要添加特殊串口设备时, 需要先在模版 templateSio. c 上创建驱动程序, 然后修改 BSP 的 sysLib. c 或 sysSerial. c 文件, 以使它们包括所需的驱动程序. 由于本文龙芯 3A 平台的所用硬件均为普通的常用设备, 可同样按照上述方式添加与配置.

3.5 Flash 文件系统的建立

由于本文的龙芯 3A 平台使用了 Flash 盘作为数据存储设备, 出于使用寿命和简化控制操作的考虑, 为该 Flash 盘建立文件系统.

TrueFFS 是 M-Systems 公司开发的一种 Flash 文件实现方式, 它屏蔽了底层存储介质的差异, 可以为各种 Flash 存储设备提供统一的块设备接口^[4]. TrueFFS 与 VxWorks 兼容, 支持 x86、PowerPC、MIPS 等 CPU 架构, 并且具有可重用、线程安全的特点, 非常适合工业控制、嵌入式等领域的龙芯 3A 平台使用.

在硬件上, 龙芯 3A 平台使用的 Flash 芯片是 SST39LF160. SST39LF160 是一种多功能 Flash 芯片, 存储空间大小为 16 Mbit (1 Mbit×16).

3.5.1 BSP 相关配置

要让 VxWorks 支持 TrueFFS, 必须在 VxWorks 映像中添加相关配置和文件.

首先要 config. h 中定义 TrueFFS, 修改 config. h 如下:

```
#define INCLUDE_DOSFS
#define INCLUDE_TFFS
#define INCLUDE_TFFS_DOSFS
```

```
# define INCLUDE_TFFS_SHOW
```

龙芯 3A 硬件平台的 BSP 目录下还需要包含 sysTffs.c 文件, 将 TrueFFS 所有层连接在一起与 VxcWorks 绑定. 修改 sysTffs.c 文件如下:

```
# define INCLUDE_MTD_SST39VF160
# define INCLUDE_TL_FTL
# define FLASH_BASE_ADRS 0x0fd00000
# define FLASH_SIZE 0x00200000
```

其中, INCLUDE_MTD_SST39VF160 代表了 SST39VF160 的 MTD 驱动, 其他不相关的 MID 驱动头文件都可以注释掉.

由于龙芯 3A 平台具备虚拟内存管理功能, 所以 sysLib.c 中的内存管理单元 MMU 需要添加 Flash 相关定义, 否则可能会导致 Flash 访问失败. 因此对于本文的龙芯 3A 平台来说, 要在 sysLib.c 中的 sysPhysMemDesc[] 中添加上面 Flash 的基址和大小等信息.

接下来修改 tffsConfig.c, 在该文件开头添加声明:

```
# ifdef INCLUDE_MTD_SST39VF160
FLStatus SST39VF160 _ MTD _ Identify
(FLFlash vol)
```

```
# endif
```

并在 MTDIdentifyRoutinemtdTable[] 中添加以下内容:

```
# ifdef INCLUDE_MTD_SST39VF160
SST39VF160_MTD_Identify
# endif
```

最后在编译时, 将 SST39VF160 相关 MTD 驱动添加到 Makefile 中去:

```
MACH_EXTRA=SST39VF160_Mtd.o
```

3.5.2 驱动程序编写

SST39VF160 驱动程序主要是完成 Flash 的识别、写入和擦除操作, 对应的函数声明分别为:

```
FLStatus SST39VF160 _ MTD _ Identify
(FLFlash vol);
```

```
static FLStatus SST39VF160MTDErase
(FLFlash vol, int blockNo, int blockToErase);
```

```
static FLStatus SST39VF160MTDWrite
(FLFlash vol, CardAddress address, const void
FAR1 buffer, int length, int modes);
```

根据这些函数的声明, 编写对应的函数, 完成驱动程序并添加到工程中即可.

3.6 开发板验证

龙芯 3A-RS780E^[5] 开发板是龙芯公司为龙芯 3A 量身定制的开发板. 它集成了丰富的通用接口, 方便用户搭建基于龙芯 3A 的硬件快速演示平台; 同时可以满足用户在开发板上进行性能评估和软件开发移植的需要.

本文所研究的内容在龙芯 3A-RS780E 开发板上进行了验证. 利用该开发板搭建了本文所设计的龙芯 3A 工控平台, 经过移植 VxWorks 可以成功运行, 验证了本文移植方法的可行性.

4 结束语

针对不同的用途和需求, 龙芯 3A 的硬件平台配置也各不相同, 但 VxWorks 移植的方法是类似的. 本文详细研究了龙芯 3A 平台下的 VxWorks 移植方法, 并在龙芯 3A 开发板上验证了其可行性, 一定程度上可以拓展龙芯系列在工业控制、高性能嵌入式等领域的应用范围.

参考文献:

- [1] 中国科学院计算技术研究所. 北京龙芯中科技术服务中心有限公司 [M]. 北京: 龙芯 3A 处理器数据手册, 2009.
- [2] Wind River. VxWorks BSP 开发人员指南 [M]. 王金刚, 译. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [3] 李勇. 基于 ARM9 的 VxWorks BSP 的设计与实现 [D]. 湖南: 湖南大学, 2009.
- [4] Wind River. VxWorks 程序员指南 [M]. 王金刚, 译. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [5] 岳晓东. 基于实时嵌入式系统的 BSP 构建技术[J]. 微电子学与计算机, 2006, 25(5): 105-107.

作者简介:

王 雷 男, (1982—), 硕士研究生. 研究方向为计算机系统结构、SoC 设计等.

樊晓桢 男, (1962—), 教授, 博导. 研究方向为计算机系统结构、VLSI 系统设计等.

王党辉 男, (1975—), 博士, 副教授. 研究方向为计算机系统结构、ASIC 设计等.