

基于 Adeos 的 Linux 实时性改造的研究与实现

杨丰瑞¹, 王 兵²

(1 重庆重邮信科(集团)有限公司, 重庆 400065; 2 重庆邮电大学 通信新技术应用研究中心, 重庆 400065)

摘 要: 针对传统实时操作系统价格昂贵、功能相对单一的缺点及 Linux 内核实时性的不足, 借助于 TI Beagle-board 开发平台, 利用操作系统多域的自适应环境(Adeos)提供一种构建低成本、高效率的双内核嵌入式实时操作系统的解决方案. 对其重要的性能指标测试结果表明: Xenomai/Linux 双内核实时操作系统具有良好的用户态软实时性和优秀的内核态硬实时性, 可以应用于工业控制、实时测量、实时通信网等实时性要求较高的领域.

关键词: 实时操作系统; 嵌入式; 操作系统自适应域; xenomai; beagleboard

中图分类号: TP361.8

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2015)03-0050-04

Research and Implementation of Linux Real-time Transformation Based on Adaptive Domain Environment for Operating System

YANG Feng-rui¹, WANG Bing²

(1 Chongqing Information Technology (Group) Co., Ltd., Chongqing 400065, China;

2 Research Centre for Application of New Communication Technologies,

Chongqing University of Post and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: In view of traditional real-time operating systems are expensive and also relative to a single functional shortcomings and Linux kernel is lack of real-time performance. Based on TI Beagleboard development platform provides a low-cost, high-efficiency dual-core embedded real-time operating system solution. Tested real-time operating system important Index and the results showed that: Xenomai/Linux dual-core real-time operating system has a good user mode soft Real-time performance and excellent in-kernel mode hard real-time performance. It can be widely used in industrial control, real-time measurement, real-time Communication Network and other high areas of real-time requirements.

Key words: real-time operating system; embedded; adeos; xenomai; beagleboard

1 引言

实时操作系统 Linux 具有代码开源性、低成本性, 而且还具有功能稳定的内核和随处可下载的自由应用及其他优点, 因而得到了广泛的应用. 但是 Linux 本身是一个分时操作系统, 在实时性方面存在较大的缺陷^[1]. 造成这种情况的根本原因是由 Linux 本身的设计方式和复杂度决定的, Linux 操作系统所采用的调度算法所追求的设计目标在于优化系统的平均性能^[2], 因此不能够直接应用在实时

环境中.

针对传统实时操作系统价格昂贵、功能相对单一且 Linux 内核对实时性支持的不足, 目前对 Linux 进行实时性改造的方法有很多种^[3]. 一是直接修改内核, 修改数据结构, 增加抢占机制, 这种方案的缺点是工作量大且原本 Linux 上的应用程序会受到影响, 兼容性差. 二是增加一个实时内核, 这种方案既满足了实时性的需求, 又满足兼容性的要求. 三是细化系统时钟粒度, 改善屏蔽中断处理, 增加实时内核调度算法等. 本文借助于 TI (Technology Instruments) Beagleboard 开发平

收稿日期: 2014-05-07; 修回日期: 2014-05-22

基金项目: 新一代宽带无线移动通信网科技重大专项(2012ZX03000112-002)

台,构建了一种 Xenomai/Linux 双内核的实时操作系统,通过实验证明:Xenomai/Linux 可以应用于实时性比较苛刻的环境中。

2 系统整体框架

本文是针对 Linux 内核实时性的不足,在 TI Beagleboard 开发平台上探索 Xenomai/Linux 双内核实时操作系统的构建。其中 Xenomai 是基于 Adeos(操作系统的自适应域)的,Adeos 相当于 Linux 和硬件之间的中间层,对硬件做了一种虚拟,采用中断管道机制和域管道机制,实现了每个域上可以运行一个操作系统或者是一个软件实体。系统的整体框架如图 1 所示。

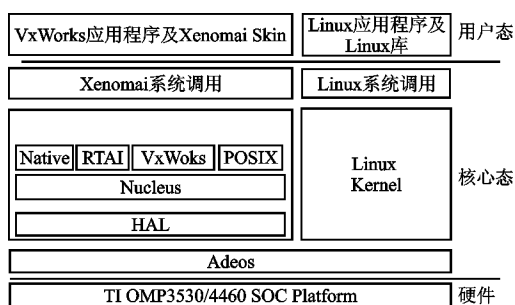


图 1 系统总体框图

如图 1 所示,系统分为硬件、核心态、用户态三个部分,硬件之上的 Adeos 提供了多个域,Xenomai 的核心技术是通过一个实时微内核,采用接口变种技术模拟出各种传统实时操作系统的 API,如 Vx-Works、RTAI 等,这样传统实时操作系统的应用程序就能无缝地移植到 GNU/Linux 的环境中,从而不需要代码重写,可以缩短开发周期,降低成本。此双内核的实时操作系统既保证了 Linux 的原生态功能,同时又对用户态和内核态实时性提供支持。

3 Xenomai 基本原理

Xenomai 起源于 2001 年开源社区的一个 Linux 内核实时性改造的一个项目。Xenomai 在内核态提供了硬实时性能,与此同时,为上层的用户态应用程序提供了一些商业实时操作系统的接口,这样原先跑在商业硬实时操作系统上的应用程序可以无缝地移植到 GNU/Linux 环境下^[4]。

操作系统的多域的自适应环境简称 Adeos(Adaptive Domain Environment for Operating System)^[5]。Adeos 主要的作用是为了提供多个域,每个域上可以运行一个操作系统,或者是软件实体,

Adeos 的主要作用是用于接管中断,由于 Adeos 的存在,实时任务由 Xenomai 实时微内核处理,非实时任务交由 Linux 去处理,这样保证实时性的同时,又能保证非实时任务得到及时的处理。这样就克服了传统实时操作系统无法处理功能复杂的困难,只能保证硬实时任务能得到及时的处理,这样功能就显得相对比较单一。Xenomai 充分发挥 Adeos 的优势并架构其上。Adeos 的体系结构如图 2 所示。

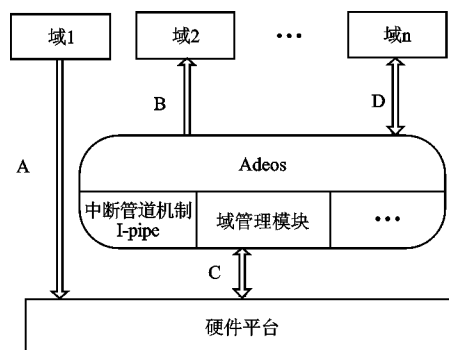


图 2 Adeos 体系结构

A 类交互相当于 Adeos 不存在,事实上应用程序也不知道 Adeos 的存在,此时域内的软件实体可以直接对硬件进行访问或者对硬件进行一些配置。

B 类交互是指 Adeos 接收到中断以后,对域内的操作系统提供相应的中断服务。

C 类交互是指 Adeos 和硬件之间的交互,当硬件中断触发时,Adeos 的中断管道机制负责接管中断,同时,Adeos 也可以操控硬件资源。

D 类交互是域和 Adeos 之间的交互是双向的,域内的操作系统可以主动请求一些 Adeos 的服务,或者下发一些参数命令,同时 Adeos 向上层提供相应的中断服务等。

4 构建 Xenomai/Linux 双内核系统

TI OMAP3530 是一种低价格、高性能的开发板,具有很强的扩展性^[6]。本文是借助于此硬件平台上构建 Xenomai/Linux 双内核的操作系统。

4.1 环境搭建

由于 Arm 指令集和 X86 指令集的不同,因此当需要编译 Arm 平台上运行的程序时,需要进行交叉编译,故需要搭建交叉编译的环境。经过综合考虑选择的工具链为 arm-2009q1-203-arm-none-linux-gnueabi。GNU 工具链中的各个组件的开发和发行是相对独立的,在编译内核时,选择支持 eabi 的工具链。可以下载相应的安装包解压后设置好环境变

量, 或者使用 export 临时指定交叉编译器的路径。

4.2 构建 Xenomai 实时内核

综合考虑, 采用目前最新的稳定版本 Xenomai2.6.3 和标准 Linux3.8.13 来构建实时双内核操作系统。构建实时双内核系统的步骤如下:

首先是对标准 Linux3.8.13 打上 Adeos 的补丁, 这里需要注意的是 Linux 的主版本号需要和补丁的主版本号一致, 否则可能会出现补丁打不上的情况, 在终端输入如下命令:

```
$ Xenomai_root/scripts/prepare-kernel.sh \
--linux= $ Linux_root/linux-3.8.13
--adeos= ./ksrc/arch/arm/patches/ipipe-core-3.8.13-arm-3.patch
--arch=arm
```

上面的 \$Xenomai_root、\$Linux_root 分别代表 Xenomai2.6.3 和 Linux3.8.13 源码包的路径。在执行这个脚本的时候, 带上三个参数, 分别是 --linux 代表对哪个 Linux kernel 版本打上补丁, --adeos 是指定需要打的 adeos 补丁, --arch 是指 ARM 架构。由于是采用 TI Beagleboard 开发平台, 因此可以 cd 到 linux3.8.13 的源码目录下, 执行以下命令:

```
$ cp arch/arm/boot/configs/omap2plus_defconfig .
config(做了这个配置之后, 会减掉很多的内核裁剪工作, 把精力集中于 Xenomai 内核的裁剪)
$ make ARCH=arm CROSS_COMPILE=arm-none-linux-gnueabi-distclean
$ make ARCH=arm CROSS_COMPILE=arm-none-linux-gnueabi-omap2plus_defconfig
$ make ARCH=arm CROSS_COMPILE=arm-none-linux-gnueabi-menuconfig
$ make ARCH=arm CROSS_COMPILE=arm-none-linux-gnueabi-uImage-j4
```

首先在编译内核之前, make distclean 可以清除一些配置, 保证 kernel 是处于洁净的状态, make omap2plus_defconfig 是使内核针对 omap 系列的开发平台进行支持, 忽略其他不需要的配置, make menuconfig 是图形化的内核裁剪界面, 把需要编译的部分, 编进内核, 不需要的进行裁剪去除, 这里需要注意的是关掉 Linux 和 Xenomai 冲突的选项, 并打开串口和内核调试的功能。这样在内核启动失败的时候, 能够看到打印的 log 信息, 便于解决调试错误。make uImage 这条命令的作用, 使最终的结果生成 uImage 镜像, -j4 的意思是同时使用 4 条线程编译, 这样可以减少编译的时间。编译的过程中可能会出现一些错误, 针对具体的出错信息进行解决, 这里不再详述。解决完编译错误之后, 最终在 arch/arm/

boot/目录下会生成需要的 uImage 镜像。uImage 可以通过制作启动 SD 卡的方式或者 nand 烧写的方式, 让 Beagleboard 开发平台运行起来。

由于双内核系统需要 Xenomai 的动态库支持, 因此需要对 Xenomai 的源码进行编译。我们首先 cd 到 Xenomai2.6.3 目录下, 对 Xenomai 的源码进行交叉编译。在终端中输入如下命令:

```
$ ./configure --build=i686-pc-linux-gnu \
--enable-arm-tsc=omap3 \
--host=arm-linux \
CC=/home/wangbing/workspace/arm-2009q1/bin/arm-none-linux-gnueabi-gcc \
CXX=/home/wangbing/workspace/arm-2009q1/bin/arm-none-linux-gnueabi-g++ \
AR=/home/wangbing/workspace/arm-2009q1/bin/arm-none-linux-gnueabi-ar \
LD=/home/wangbing/workspace/arm-2009q1/bin/arm-none-linux-gnueabi-ld \
RANLIB=/home/wangbing/workspace/arm-2009q1/bin/arm-none-linux-gnueabi-ranlib \
```

在 Linux 下安装某款软件, 通常采用 configure、make、make install 三个步骤。configure 是用来对源码进行一些配置, 会根据 automake 生成相应的 Makefile, make 是用来解析 Makefile 的工具, 根据 Makefile 就可以进行自动编译, make install 是安装的命令, 本质上复制一些库、脚本、可执行文件等。在这里 configure 带了几个参数, 其中 --build 通常指的是在什么平台上进行编译, 这里是在 Ubuntu12.04 X86 平台上, --host 指的是所编译的程序最终运行在什么平台上, 一般默认的是 X86 平台, 因此这里需要指定是 arm-linux, --enable-arm-tsc 这个命令是用来指定具体的处理器型号, CC、CXX、AR、LD、RANLIB 是具体指定交叉工具链中的各个组件。编译安装后, 会在 /usr/local 目录下看到 Xenomai 的 dev 和 lib 目录, 其中 lib 中包含了 Xenomai 所需要的动态库。

4.3 构建文件系统

根文件系统^[7-8]是内核启动以后, 挂载的第一个文件系统, 在本文中, 需要制作支持 Xenomai 运行的文件系统。因此需要将支持 Xenomai 运行的动态库, 导入到 Linux 的根文件系统。这里采用的方法是, 解压 LinuxRootFS 的压缩包, 将 /usr/local 下生成的 Xenomai 文件复制到文件系统之中, 需要注意的是, 一定要将 Xenomai 的 Lib 目录下的动态库文件, 全部导入到 Linux 根文件系统之中, 这样 Xenomai 在 Adeos 域中注册以后, 利用实时微内核技术, 提供普通 RTOS 服务, 包括 NATIVE、VxWorks 的

一些 API,为用户态软实时应用程序提供功能接口。

5 系统实时性测试与分析

衡量实时操作系统的性能指标有几种,包括任务响应延迟和截止期错失率等^[9],任务响应延迟时间是指一个任务从触发开始到被调度执行之前时间的差值。通常,系统的时钟粒度是固定不变的,任务响应延迟的时间随着任务响应时间的变大而减小。截止期错失率是指,一个任务集中的任务在截止期时抵达时尚未完成的任务占任务集中所有任务数的比,简单的说调度失败的任务占总任务的百分比。

在 TI Beagleboard 平台上构建的 Xenomai/Linux 双内核实实时系统后,以任务延迟响应时间来评价此系统用户态的软实时性和内核态的硬实时性能,这里采用任务响应延迟时间来评价。通过固定的周期对实时任务进行循环调用。根据实际调度时间和期望时间的差值可以得出延迟调度时间。在终端中输入如下测试指令后会启动测试日志:

```
Latency -t 0 -p 100 -T 60 -h -s
```

参数的意义:-t 表示设定参数类型:0 代表用户态任务调度,1 表示内核态任务调度测试,2 表示定时器中断调度测试;-p 表示设定任务的周期,以 μs 为单位;-T 表示根据需要设定测试的总时间,此处设置为 60 s;-h 表示打印最小延迟、平均延迟、最大延迟的记录;-s 表示打印统计过程中的最小延迟、平均延迟、最大延迟。

根据此命令分别测得用户模式、内核模式、定时器中断三种情况下的最小延迟、平均延迟、最大延迟的数据,统计结果如图 3~5 所示。在不同的采样周期(100 μs 、200 μs 、300 μs ...1000 μs)下测试系统的最小延迟、最大延迟和平均延迟,一共十组数据。可以看出在用户模式下 Xenomai 的平均延迟为 14.311 μs ,最小延迟为 9.373 μs ,具有非常好的用户态实时性。在内核态下的平均延迟为 9.179 μs ,最小延迟为 6.200 μs ,数据说明:Xenomai 构建的 Linux 双内核系统内核态的实时性能达到了硬实时的要求。从图 5 可以看出,此系统在定时器中断情况下的响应也非常快。其中最大延迟为 7.050 μs ,平均延迟为 0.032 μs 。需要注意的是最小延迟和平均延迟数值非常的小,接近 0,因此从图上可以看出最小延迟和平均延迟曲线几乎与横轴重合。

6 结束语

本文针对 Linux 实时性的不足,提出了一种简

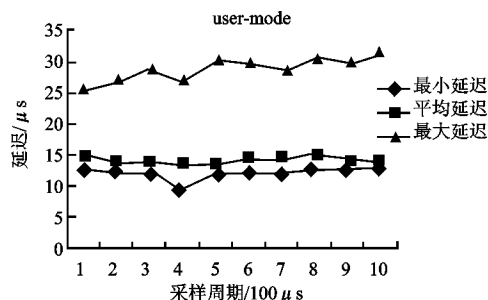


图3 用户态实时性测试

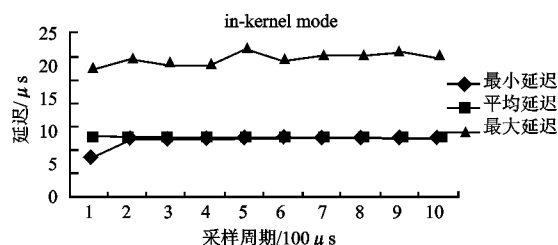


图4 内核态实时性测试

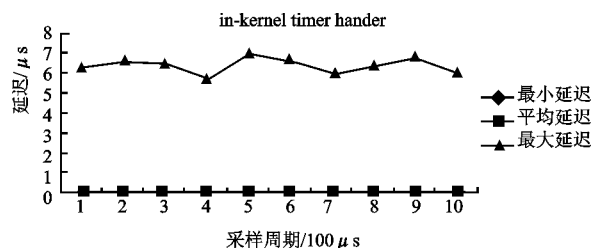


图5 定时器中断实时性测试

单高效的解决方案 Xenomai。在 TI Beagleboard 开发平台上构建了双内核的实时系统并通过测试分析,实验结果表明:基于 Adeos 构建的双内核实时嵌入式系统能够应用于实时性要求比较苛刻且功能复杂的场合。

参考文献:

- [1] 张磊,鲍鸿,黄贤新,等.基于 RTnet 构建具有实时网络的嵌入式 Linux 系统[J].计算机工程与应用,2013,49(1): 72-74.
- [2] Su P, Zhao D, Liu K. Implementation of the underlying platform architecture of the real-time embedded linux CNC system based on OMAP3530[J]. Machinery & Electronics, 2013(1): 12.
- [3] Abbes F, Chtourou S, Baklouti E. Toward the design of a low cost reconfigurable real time augmented reality system[C]// Intelligent Solutions in Embedded Systems (WISES), 2012 Proceedings of the Tenth Workshop on, Austria: Alpen-Adria University, IEEE, 2012: 21-26.

(下转第 58 页)

表 1 过暗图像的视觉参数对比

name	AC	AIE	ABWF	ADN	CAF	Time/s
2(a)	1.11	3.45	0.48	5.83	0.61	#
2(b)	8.04	4.82	1	23.20	69.92	3.5
2(c)	7.58	6.14	0.84	19.80	67.26	6.3
2(d)	12.15	4.32	1	36.65	94.07	1.65

表 2 过亮图像的视觉参数对比

name	AC	AIE	ABWF	ADN	CAF	Time/s
3(a)	10.47	6.29	1	55.02	158.15	#
3(b)	12.69	4.96	1	84.83	167.80	0.07
3(c)	7.95	6.81	1	37.35	124.54	0.56
3(d)	15.50	5.34	1	94.23	204.92	0.15

表 3 有雾图像的视觉参数对比

name	AC	AIE	ABWF	ADN	CAF	Time/s
4(a)	1.27	6.15	0.39	23.53	3.98	#
4(b)	3.07	6.64	1	52.98	78.33	0.23
4(c)	3.48	5.93	0.81	65.01	70.02	2.5
4(d)	3.67	7.11	1	70.19	112.13	0.15

表 4 水下图像的视觉参数对比

name	AC	AIE	ABWF	ADN	CAF	Time/s
5(a)	1.81	5.95	0.71	17.75	15.30	#
5(b)	3.24	6.67	1	30.74	62.83	9.0
5(c)	3.18	7.06	0.94	35.29	66.38	7.5
5(d)	3.43	6.83	1	38.65	75.44	0.71

5 结束语

本文针对图像传感器在恶劣环境下采集到的图像的缺陷,建立了衰减补偿模型,提出了一种衰减补偿算法,通过软件的方式对图像传感器的缺陷进行补偿,然后通过分析图像视觉参数,提出了一种适合于恶劣环境下图像的视觉质量综合评价函数,从客观和主观上同时验证了衰减补偿算法不仅有更好的视觉效果并且处理速度快.同时该理论为复杂环境

下视频的缺陷补偿提供了一个新的思路.

参考文献:

- [1] 许志远,柳晓鸣. 基于双线性插值动态直方图均衡化的雾天图像增强算法[J]. 大连海事大学学报, 2010, 36(3): 64-68.
- [2] 李菊霞,余雪丽. 雾天条件下的多尺度 Retinex 图像增强算法[J]. 计算机科学, 2013, 40(3): 299-301.
- [3] He K, Sun J, Tang X. Single image haze removal using dark channel prior[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, 2011, 33(12): 2341-2353.
- [4] He K, Sun J, Tang X. Guided image filtering [C]// Computer Vision - ECCV 2010. Berlin, Heidelberg, Springer, 2010: 1-14.
- [5] Chiang J Y, Chen Y C. Underwater image enhancement by wavelength compensation and dehazing[J]. Image Processing, IEEE Transactions on, 2012, 21(4): 1756-1769.
- [6] 方紫娟,谢正祥,冯鹏,等. 快速自适应最佳化算法在望远视频图像中的应用[J]. 传感技术学报, 2013, 9(21): 1265-1269.
- [7] 谢正祥,王志芳,熊兴良,等. 基于视觉感知噪声模型的彩色图像质量评价和彩色图像质量最佳化[J]. 中国图象图形学报, 2010, 15(10): 1454-1464.
- [8] 陈勇,李愿,吕霞付,等. 视觉感知的彩色图像质量积极评价[J]. 光学精密工程, 2013, 21(3): 742-750.

作者简介:

刘杰男, (1963-), 硕士研究生. 研究方向为视频图像处理及应用. E-mail: 466914350@qq.com.

(上接第 53 页)

- [4] Cleve S, Bogani A I, Pivetta L. A low-cost high-performance embedded platform for accelerator controls[C]// PAC2012. India, Kolkata, 2012(34): 201-213.
- [5] Koh J H, Choi B W. Real-time performance of real-time mechanisms for RTAI and xenomai in various running conditions[J]. International Journal of Control & Automation, 2013, 6(1): 134-146.
- [6] Kang S, Wei S, Ren Zhenxing. Data concentrator based on xenomai and RTnet[J]. Computer Knowledge and Technology, 2013(8): 84.
- [7] 李书根, 潘海燕, 王培. 一种嵌入式实时操作系统高可靠文件系统[J]. 微电子学与计算机, 2014, 31(3): 14-16.
- [8] 刘胜, 王丽芳, 蒋泽军. 基于多核 PC 的 Linux 系统实

时性改造[J]. 微电子学与计算机, 2013, 30(8): 120-123.

- [9] Netland O, Skavhaug A. Software module real-time target: improving development of embedded control system by including simulink generated code into existing code[C]// Software Engineering and Advanced Applications (SEAA), 2013 39th EUROMICRO Conference on. Spain, Santander, IEEE, 2013: 232-235.

作者简介:

杨丰瑞男, (1963-), 博士, 教授. 研究方向为通信新技术应用.

王兵(通讯作者)男, (1989-), 硕士. 研究方向为通信新技术应用. E-mail: vstongxin2008@126.com.