

ARM9嵌入式Linux系统 构建与应用

潘巨龙 黄 宁 姚伏天 陈科杰 道克刚 编著



北京航空航天大学出版社

TP332

71

ARM9 嵌入式 Linux 系统构建与应用

潘巨龙 黄宁 姚伏天 陈科杰 道克刚 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书分 10 章,首先对嵌入式系统、ARM 体系结构及指令系统进行介绍,然后以 ARM9 芯片 S3C2410 为平台,详细介绍有关 ARM 体系架构,其中包括常用的串口、IIC 总线、CAN 总线、SPI 总线、EEPROM、时钟、D/A 及 A/D 转换等内容。并在此基础上,详细介绍 I/O 接口中常用的液晶屏和触摸屏的使用方法、用户驱动程序和应用程序的移植、内核的裁剪和文件系统等。最后以一个实例开发作为全书的结束。

本书大部分章节配有内容丰富的程序解读、实验指导及思考题等实战内容,同时配有硬件芯片接口电路设计图。通过阅读本书,可以使读者掌握基于 ARM 应用系统的相关知识。

本书既可作为高等院校嵌入式系统课程、ARM 技术学习或培训的教材,也可作为嵌入式系统开发人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

ARM9 嵌入式 Linux 系统构建与应用/潘巨龙等编著.

北京:北京航空航天大学出版社,2006.8

ISBN 7-81077-844-7

I. A… II. 潘… III. ①微处理器,ARM②Linux 操作系统 IV. ①TP332②TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 033883 号

©2006,北京航空航天大学出版社,版权所有。

未经本书出版者书面许可,任何单位和个人不得以任何形式或手段复制或传播本书内容。

侵权必究。

ARM9 嵌入式 Linux 系统构建与应用

潘巨龙 黄宁 姚伏天 陈科杰 道克刚 编著

责任编辑 梁厚蕴

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail:bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:22 字数:493 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-844-7 定价:29.50 元

前言

嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术、电子技术和各个行业具体应用相结合的产物,这一点决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散和不断创新的知识集成体系。嵌入式系统是近年来发展较快的信息领域之一,也是国家信息产业的一个重点发展方向。它是一个不可垄断的市场,因而蕴含着巨大的市场需求,可广泛应用于移动计算设备、网络设备、信息家电、工控设备、车载设备和仪器仪表等场合。

ARM 嵌入式处理器是一种 16/32 位高性能、低成本和低功耗的嵌入式 RISC 微处理器。它由英国 ARM 公司设计,ARM 公司本身并不生产芯片,它授权给世界各半导体厂商生产。目前已经成为应用最为广泛的嵌入式处理器,世界上几乎所有的主要半导体厂商都生产基于 ARM 体系结构的通用芯片,或在其专用的芯片中嵌入 ARM 的相关技术。如 TI、MOTOROLA、Intel、NS、ATMEL、PHILIPS、Altera、Agilent、Hynix、NEC、Sharp 和 Samsung 等公司都有 ARM 的产品。

从 20 世纪 80 年代开始,出现了各种各样的商业用嵌入式操作系统。这些操作系统大部分都是为专有系统而开发的,从而形成了目前多种形式的商用嵌入式操作系统百家争鸣的局面,如 VxWorks、pSOS、Nucleus、PalmOS 和 Windows CE 等。但这些专用操作系统都是商业化产品,其高昂的价格使许多低端产品的小公司望而却步;而且,源代码封闭性也大大限制了开发者的积极性。因为这些 EOS(Embedded Operating System)提供给编程人员的,往往只有 API(Application Programming Interface)应用编程接口,一般以函数形式出现,这些函数均是不能修改的。此外,结合国内实情,当前国家对自主操作系统的大力支持,也为源代码开放的 Linux 的推广提供了广阔的发展前景。

本书的主要读者

本书详细介绍了有关 ARM9 的体系架构,其中包括常用的串口、IIC 总线、CAN 总线、SPI

总线、EEPROM、时钟、D/A 及 A/D 转换等内容。并在此基础上,介绍了 I/O 接口中常用的液晶屏和触摸屏的使用方法,用户驱动程序和应用程序的移植、内核的裁剪和文件系统等。大部分章节配有内容丰富的程序解读、实验指导及思考题等内容,同时配有硬件芯片接口电路设计图。通过阅读本书,可以使读者掌握开发基于 ARM 嵌入式应用系统的各方面知识。

本书适合下列人员阅读:

- 想学习或者刚刚进入嵌入式系统领域的人员。
- 在非 80X86 平台上工作,想学习 ARM 处理器的开发人员。
- 对嵌入式系统及 Linux 系统学习有兴趣的人员。

本书既可作为学习 ARM 技术的教材或培训材料,也可作为嵌入式系统开发人员的参考手册。

本书的开发平台

本书所用的开发平台由合肥华恒公司提供的 HHARM2410 - R3 和 HHARM2410 - EDU,大部分程序已在上述平台测试通过,本书的嵌入式平台采用 Linux 操作系统,程序采用 ANSI C 编程,因而可移植性好,程序样例也适合其他 ARM 开发平台参考使用。

本书由潘巨龙编写第 1 章、第 2 章和第 4 章,陈科杰编写了第 3 章,道克刚编写了第 5 章和第 6 章,黄宁编写了第 7 章、第 8 章和第 9 章,姚伏天编写了第 10 章。全书由潘巨龙统稿。

致 谢

本书在编写过程中得到合肥华恒科技公司和上海锐极电子科技有限公司的很多帮助,在此表示感谢!书中部分程序由华恒公司授权使用。同时,本书的编写参考了网上许多 IC 厂家的相关资料,在此向那些无名作者表示谢意!

鉴于作者水平有限,加之时间仓促,本书一定有不少缺点和错误,希望得到广大读者的指正。我们希望在吸取大家意见和建议的基础上,不断修改和完善书中的有关内容,在下一次改版中得到订正。任何批评和建议请发到 lesson_c@sina.com,以便共同提高。

作 者

2006 年 6 月

北京航空航天大学出版社 单片机与嵌入式系统图书推荐

(2005 年 6 月后出版图书)

书 名	作 者	定 价	出版 日期
-----	-----	-----	-------

嵌入式系统高端教材

嵌入式系统基础—— μ C/OS-II 及 μ CLinux	任 哲	估 28.0	2006.08
Windows CE 嵌入式系统	何宗健		2006.08
嵌入式 Intel 架构微机实验教程(含光盘)		49.0	2006.08
ARM 嵌入式 VxWorks 实践教程	李忠民	28.0	2006.03
嵌入式系统设计与应用开发	郑灵翔	36.0	2006.02
嵌入式系统设计与实践	张晓林	29.5	2006.01
嵌入式实时操作系统 μ C/OS-II 原理及应用	任 哲	22.0	2005.08
ARM 9 嵌入式技术及 Linux 高级实践教程	陈 贇	32.0	2005.06
ARM 嵌入式系统实验教程(二)	周立功	29.0	2005.10
ARM 嵌入式系统实验教程(三)	周立功	32.0	2005.11
ARM 嵌入式系统实验教程(三)——扩展实验	周立功	29.5	2006.02
嵌入式系统开发与应用教程	田 泽	33.0	2005.03
嵌入式系统开发与应用实验教程(第 2 版)(含光盘)	田 泽	29.5	2005.05

ARM、SoC 设计、IC 设计及其他嵌入式系统综合类

Nios II 嵌入式软核 SOPC 设计原理及应用	李兰英		2006.09
嵌入式系统中的模拟设计	李喻奎译	32.0	2006.07
ARM 嵌入式软件开发实例(二)	周立功	53.0	2006.7
ARM 9 嵌入式 Linux 系统构建与应用	潘巨龙	29.5	2006.07
ARM SoC 设计的软硬件协同验证(含光盘)	周立功	25.0	2006.07
C++ GUI Qt3 编程 (含光盘)	齐亮译	45.0	2006.06
ARM 开发工具 ADS 原理与应用	赵星寒	29.0	2006.06
基于 FPGA 的可编程 SoC 设计	董代洁	26.0	2006.06
IAR EWARM 嵌入式系统编程与实践 (含光盘)	徐爱钧	49.0	2006.03
英汉双解嵌入式系统词典	马广云等译	59.0	2006.01
嵌入式 Ethernet 和 Internet 通信设计技术	骆丽等译	39.0	2006.01
ARM 嵌入式 Linux 系统构建与驱动开发范例	周立功	38.0	2006.02
ARM 嵌入式 MiniGUI 初步与应用开发范例	周立功	26.0	2006.01
μ C/OS ARM 移植要点详解	黄燕平	26.0	2005.10
嵌入式实时操作系统的多线程计算——基于 ThreadX [®] 和 ARM [®] (含光盘)	张 炯	46.0	2005.10
从 51 到 ARM—32 位嵌入式系统入门	赵星寒	38.0	2005.11
ARM 微控制寄存器基础与实战(第 2 版)	周立功	43.0	2005.08
深入浅出 ARM7——LPC213X/214X(上)	立功	45.0	2005.07

书 名	作 者	定 价	出版 日期
深入浅出 ARM7——LPC213X/214X(下)	周立功	45.0	2006.02
ColdFire 系列 32 位处理器与嵌入式 Linux 应用 (含光盘)	李晶皎	39.5	2005.06
MIPS 处理器设计透视	赵俊良译	55.0	2005.06
ARM 嵌入式系统开发——软件设计与优化	沈建化等译	75.0	2005.06

嵌入式操作系统及软件开发

嵌入式可配置实时操作系统 eCos 软件开发	颜若麟	39.0	2006.06
深入理解 Linux 虚拟内存管理	白洛等	76.0	2006.06
嵌入式系统接口设计与 Linux 驱动程序开发	刘 森	39.0	2006.05
源码开放的嵌入式实时操作系统 T-Kernel (含光盘)	周立功等译	45.0	2005.10

DSP

TMS320X281x DSP 原理与应用	徐科军	45.0	2006.08
dsPIC 数字信号控制器 C 程序开发及应用(含光盘)	梁海浪	36.0	2006.06
DSP 应用系统设计实践	郑 红	32.0	2006.05
高性能工业控制 DSP——ADSP 2199X 原理及应用 (含光盘)	王晓明	39.0	2005.09

单片机

开发实例与实战

51 系列单片机设计实例(第 2 版)(含光盘)	楼然苗	29.5	2006.02
单片机应用系统设计与仿真调试	严天峰	28.0	2005.08

教材与教辅

练中学单片机	李 刚	28.0	2006.07
单片机认识与实践	邵贝贝		2006.08
Freescape 8 位单片机入门与实践(含光盘)	熊 慧		2006.08
标准 80C51 单片机基础教程——原理篇	李学海	29.0	2006.07
高职高专通用教材——单片机原理与应用教程	袁秀英		2006.08
高职高专通用教材——单片机实训教程	李雅轩		2006.08
高职高专通用教材——单片机习题与实验教程	李 珍		2006.08
单片机初级教程——单片机基础(第 2 版)	张迎新		2006.09
单片机实验与实践教程(一)(第 2 版)	万光毅	25.0	2006.06
单片机实验与实践教程(二)(第 2 版)	夏继强	26.0	2006.06
单片机实验与实践教程(三)	周立功	27.0	2006.06
练中学单片机教程	李 刚	28.0	2006.07
跟我学用单片机(第 2 版)	肖洪兵	26.0	2006.06

书 名	作 者	定 价	出版日期
单片机习题与试题解析	高 锋	16.0	2006.03
SoC 单片机实验、实践与应用设计——基于 C8051F 系列 (含光盘)	万光毅	39.5	2006.05
单片机 C51 程序设计教程与实验	祁 伟	22.0	2006.01
单片机原理及接口技术(第3版)	李朝青	27.0	2005.10
单片机学习指导	李朝青	26.0	2005.10
高职高专通用教材——PIC 单片机基础教程	丁跃军	19.5	2005.06
单片机 C 程序设计实例指导	李光飞	19.5	2005.08

应用程序设计与开发

单片机 C 语言轻松入门(含光盘)	周 坚	29.0	2006.07
单片机智能化产品 C 语言设计实例详解 (含光盘)	周兴华	28.0	2006.06
单片机 C 语言和汇编语言混合编程实例详解(含光盘)	杜树青	26.0	2006.06

器件手册、应用技术选编

单片机应用技术选编(11)	何立民	75.0	2006.06
单片机 & DSP 外围数字 IC 技术手册(第2版)	李朝青	59.0	2005.10
单片机外围器件实用手册——数据传输接口器件分册(第2版)	郭宽明	59.0	2005.09

51 系列单片机其他图书

单片机应用系统电磁干扰与抗干扰技术	王幸之	59.0	2006.01
单片机 C 程序设计实例指导	楼然苗	19.5	2005.08

PIC 单片机

PIC 单片机初级教程	李荣正	22.0	2006.03
PIC 单片机实验教程 (含光盘)	李荣正	26.0	2006.02
PIC 单片机开发应用与实验工具制作(含光盘)	陈新建	25.0	2006.02
高职高专通用教材——PIC 单片机基础教程	丁跃军	22.0	2005.08

AVR 单片机

AVR 单片机 GCC 程序设计	佟长福	28.0	2006.01
------------------	-----	------	---------

其他公司单片机

凌阳 16 位单片机 C 语言开发	李晓白	估 26.0	2006.07
凌阳 16 位单片机开发实例	凌阳科技	19.5	2006.06
凌阳 8 位通用单片机原理及开发	凌阳科技	28.0	2006.04
MCU-DSP 混合控制器技术与应用——基于凌阳 16 位单片机	刘海成	26.0	2006.01
凌阳 8 位单片机——提高篇(含光盘)	李学海	45.0	2006.03

书 名	作 者	定 价	出版日期
凌阳 8 位单片机——基础篇	李学海	38.0	2005.11
M68HC08 单片机原理及 C 语言开发实例(含光盘)	常 越	39.0	2005.09
凌阳单片机在大学生电子竞赛中的应用	凌阳科技	18.0	2005.06

总线技术

EZ-USB FX2 单片机原理、编程及应用	钱 峰	45.0	2006.03
现场总线技术应用选编(3)	郭宽明	69.0	2005.08
现场总线工业控制网络技术	夏继强	35.0	2005.05
8051 单片机 USB 接口 VB 程序设计	许永和	估 45.0	2006.09
现场总线技术应用选编(3)	郭宽明	69.0	2005.08

其 它

单片机应用设计 200 例(上册)	张洪润	60.0	2006.07
单片机应用设计 200 例(下册)	张洪润	55.0	2006.07
传感器应用电路 200 例	张洪润		2006.07
单片机可视化软硬件仿真技术	林志琦	估 32.0	2006.08
Cadence 高速 PCB 设计与仿真分析(含光盘)	黄豪佑	46.0	2006.07
基于 PROTEUS 的电路与单片机系统设计与仿真 (含光盘)	周润景	45.0	2006.06
蓝牙技术原理、开发与应用	钱志鸿	35.0	2006.03
蓝牙硬件电路	黄智伟	65.0	2005.08
无线通信集成电路	黄智伟	96.0	2005.07
机器人制作入门篇	崔维娜译	49.0	2005.08
机器人制作提高篇	毕术生译	39.0	2005.09
Verilog-HDL 工程实践入门(含光盘)	常晓明	35.0	2005.10
2006 第四届全国高校嵌入式系统教学研讨会论文集 第一届全国嵌入式系统学术交流会论文集		50.0	2006.07
2005 年 ARM 应用技术论文大奖赛论文集	组委会	29.0	2006.05
2005 年上海市高校学生嵌入式系统创新设计竞赛获奖作品论文集	竞赛评审委员会	26.0	2005.11
全国第三届 DSP 应用技术/第九届信号与信息处理联合学术会议论文集	电子学会航空学会	90.0	2005.09
2005 年全国单片机与嵌入式系统学术交流会议论文集	深圳计算机行业学会	80.0	2005.08
中国西部嵌入式系统与单片机技术论坛 2005 年学术年会论文集	四川省单片机学会	50.0	2005.12
《单片机与嵌入式系统应用》杂志合订本(2005 年 1~12 月)		65.0	2006.06

注：表中加底纹者为 2006 年后图书。

可直接向出版社邮购以上图书。邮购通信及汇款地址：北京航空航天大学出版社邮购组(邮编 100083) 另加 3 元挂号费。

邮购组电话：010-82316936，传真：010-82317031 详细图书目录及内容介绍请查阅出版社网站：<http://www.buaapress.com.cn>。

投稿单片机与嵌入式系统图书请联系：通信：北京航空航天大学出版社第 1 编辑室(邮编 100083)

电话：010-82317022 82317035 82317044 传真：010-82317022 Email: pressb@mesnet.com.cn

目 录

1 嵌入式系统简介

1.1 嵌入式系统定义和组成	1
1.1.1 嵌入式系统定义	1
1.1.2 嵌入式系统组成	2
1.2 嵌入式系统的特点	3
1.3 嵌入式系统的发展	5
1.4 从嵌入式系统到嵌入式操作系统	8
1.5 ARM9 基本系统	10
1.5.1 基本系统	10
1.5.2 HHARM2410 系统简介	11
1.5.3 HHARM9 教学实验系统简介	12
1.6 编程调试的常用方法	14
1.6.1 ARM_Star 仿真器及 ADS 仿真调试	14
1.6.2 Linux 的 minicom 交叉调试	20
1.7 嵌入式 Linux 环境下编程	22
1.7.1 GNU cc 编译器与调试器	22
1.7.2 Make 命令和 Makefile	26
1.7.3 开发环境的建立	34
1.7.4 嵌入式 Linux 开发流程与模式	37

2 ARM 体系结构及指令系统

2.1 编程模式	40
----------------	----

2.1.1 CPU 运行模式	40
2.1.2 寄存器组	41
2.1.3 寻址方式	46
2.2 指令系统	54
2.2.1 传送指令	54
2.2.2 数据处理指令	55
2.2.3 分支指令	58
2.2.4 杂项指令	58
2.2.5 协处理器指令	59
2.3 汇编语言程序设计示例	60
2.4 S3C2410 的硬件结构	70
2.4.1 内 核	70
2.4.2 片内资源	72
2.4.3 存储体系	72

3 S3C2410 通用接口

3.1 串 口	75
3.1.1 串行接口原理和说明	75
3.1.2 RS-232C 串行接口	82
3.1.3 RS-485 串行接口	84
3.2 IIC 总线	86
3.2.1 原理和说明	86
3.2.2 S3C2410 对 IIC 支持	88
3.2.3 程序解读一	95
3.2.4 程序解读二	99
3.2.5 实验内容、步骤和思考题	101
3.3 CAN 和 SPI 总线	102
3.3.1 原理和说明	102
3.3.2 S3C2410 的 SPI 介绍	104
3.3.3 程序解读一	135
3.3.4 程序解读二	140
3.3.5 程序解读三	145
3.3.6 实验内容、步骤和思考题	147
3.4 E ² PROM 介绍	148



3.4.1	实验原理和说明	148
3.4.2	程序解读一	151
3.4.3	程序解读二	153
3.4.4	实验内容、步骤和思考题	154
4	时钟与看门狗	
4.1	时 钟	155
4.1.1	实验原理和说明	155
4.1.2	对 X1227 芯片的操作	163
4.1.3	程序解读一	167
4.1.4	程序解读二	172
4.1.5	程序解读三	172
4.1.6	实验内容、步骤和思考题	173
4.2	看门狗	175
4.2.1	原理和说明	175
4.2.2	程序解读一	180
4.2.3	程序解读二	180
4.2.4	实验内容、步骤和思考题	181
5	A/D 和 D/A 转换	
5.1	片内 A/D 和扩展 A/D 转换	183
5.1.1	A/D 原理和说明	183
5.1.2	实验内容和步骤	187
5.2	D/A(数/模)转换	190
5.2.1	D/A 原理和说明	190
5.2.2	实验内容、步骤和思考题	195
6	LCD 液晶显示器和触摸屏	
6.1	LCD 液晶显示器介绍	198
6.1.1	原理和说明	198
6.1.2	LCD 的选型	205
6.1.3	不同 LCD 驱动程序的移植	205
6.1.4	MiniGUI 免费版本的移植过程	212
6.1.5	MiniGUI 源代码分析	213

6.1.6 实验内容、步骤和思考题	219
6.2 触摸屏	220
6.2.1 触摸屏简介	220
6.2.2 实验原理和说明	222
6.2.3 程序解读	226
6.2.4 实验内容、步骤和思考题	238
7 系统引导和内核裁剪与移植	
7.1 系统小型化	239
7.2 内核移植	241
7.3 系统引导程序 bootloader	245
7.4 启动代码、内核与 ramdisk 的烧写	246
7.4.1 启动代码的烧写	246
7.4.2 Linux 内核的烧写	248
7.4.3 烧写 ramdisk 映像	250
7.5 加入应用程序的 ramdisk 文件系统映像制作	250
8 用户驱动和应用程序的移植	
8.1 用户驱动模块的插入	251
8.1.1 原理和说明	251
8.1.2 程序解读	253
8.1.3 实验内容、步骤和思考题	257
8.2 应用程序的移植	259
8.2.1 pure-ftpd 原理和说明	259
8.2.2 实验内容、步骤和思考题	270
9 文件系统	
9.1 常用文件系统	274
9.1.1 文件系统简介	274
9.1.2 Ext2 和 Ext3 文件类型	277
9.2 romfs 文件系统	283
9.3 jffs2 文件系统	283
9.4 RAMFS 文件系统	283
9.5 S3C2410 上 jffs2 的移植	291

9.6	cramfs 的移植	299
9.7	各种文件系统的选择	304
9.8	实验内容、步骤和思考题	304
10	基于 ARM9 的 WLAN 电子邮件移动终端开发	
10.1	项目简介	306
10.2	系统概要设计	308
10.2.1	硬件设计	308
10.2.2	软件设计	309
10.3	收发邮件代码	312
10.3.1	配置无线网卡	312
10.3.2	接收邮件部分代码	312
10.3.3	发送邮件部分代码	325
10.4	用户界面设计	337
	参考文献	339

1

嵌入式系统简介

随着数字信息技术和网络技术的高速发展,IT 这个词汇已被人们所熟知,我们已迈入了数码时代,也有人称为后 PC 时代。建立在其基础上的嵌入式系统(embedded system)已经进入到人们生活的方方面面,如信息家电概念中的机顶盒、网络智能冰箱和工业控制中的智能测试仪器、网络仪器等。随着嵌入式技术的进一步应用,它和人们的生活也将息息相关。我们可以想象有人可能没有接触过计算机,但很难想象他从来没有接触过嵌入式系统!因为嵌入式系统无处不在,从手机、PDA(个人数字助理)、汽车到探测卫星等,这些都是典型的嵌入式系统的应用。

用 Google 搜索“嵌入式系统”,可得到多达 4 010 000 条以上的搜索结果;搜索 embedded system,可得到多达 81 400 000 条以上的搜索结果,可见嵌入式系统是计算机应用的一个大热门,也是计算机界较有前途的一个研究领域。

本章主要介绍嵌入式系统的定义、组成和特点,回顾其发展历程以及应用。

1.1 嵌入式系统定义和组成

1.1.1 嵌入式系统定义

所谓“嵌入式系统”实际上是“嵌入式计算机系统”的简称,借用电气工程师协会(IEE)的一个定义(<http://www.iee.org/Policy/Areas/Y2K/w-43.cfm>):嵌入式系统是用来控制或监视机器、装置或工厂等大规模系统的设备。

也有人如此定义嵌入式系统:它是计算机软件与硬件的综合体,是以应用为中心,以计算

机技术为基础,软硬件可裁剪,从而能够适应实际应用中对功能、可靠性、成本、体积和功耗等严格要求的专用计算机系统。可以说,对嵌入式系统没有一个非常明确的定义,但这并不影响其作为一个热门话题。

1. 嵌入式系统的特性

嵌入式系统具有以下特性:

(1) 通常只执行特定功能,这一点与一般桌面型办公设备或数据库系统有很大的区别。

(2) 以微控制器与外围器件构成核心,其规模可在大范围内变化,如从 8051 芯片到 Intel 80X86 芯片。

(3) 严格的时序性和稳定性要求,这是因为在机器控制的大型系统中,程序运行稍有差错则可能使整个系统失去控制,甚至酿成灾害,而在 PC 中,则可以通过重启来恢复。

(4) 自动操作循环,等待中断控制。

(5) 软件“烧写”到芯片中执行,一般无启动硬盘等。

嵌入式计算机在应用数量上已远远超过了各种通用计算机。一台通用计算机的外部设备中就包含了 5 至十几个嵌入式微处理器,键盘、鼠标、软驱、硬盘、显示卡、显示器、Modem、网卡、声卡、打印机、扫描仪、数码相机及 USB 集线器等均是由嵌入式处理器进行控制的。在制造工业、过程控制、通信、仪器仪表、汽车、船舶、航空、航天、军事装备和消费类产品等方面,嵌入式计算机都有用武之地。

美国汽车大王福特公司的高级经理曾经宣称,“福特出售的‘计算能力’已超过了 IBM”,由此可以想象嵌入式计算机工业的规模和广度。美国著名未来学家尼葛洛旁帝 1999 年 1 月访华时预言,4~5 年以后嵌入式智能(电脑)工具将是 PC 和因特网之后最伟大的发明。现在嵌入式产品早已是无处不在了!

2. 单片机系统和嵌入式系统的区别

从以上嵌入式系统的定义我们可以看出,实际上以前的控制装置、单片机系统应该也属于嵌入式系统的范畴。虽然嵌入式系统的流行是最近几年的事,或者说最近几年才得到了迅速应用,但是,单片机系统早在 20 世纪七、八十年代就已得到广泛的应用。所以,嵌入式系统的历史已有几十年。

但是,早期的单片机系统和嵌入式系统还是有一些区别的,从操作系统 OS(Operating System)应用的层面上分析,一般单片机应用都没有 OS 的概念,由循环来进行控制,无网络协议支持,只适合简单的应用领域。而嵌入式系统一般因为要求有 OS,可以执行多任务调度,支持网络协议 TCP/IP,所以嵌入式系统可以比普通单片机系统更适合完成复杂的应用。

1.1.2 嵌入式系统组成

既然嵌入式系统也是计算机系统,那么必须由硬件系统和软件系统组成。其硬件不可避

免地必须由三大部分组成,那就是中央处理机(CPU)、存储器以及输入/输出手段。它要求软硬件结合,并融为一体而成为产品。芯片加软件就成为产品,但要有相应的开发工具辅助进行开发。

嵌入式系统是面向应用、面向产品的(与桌面计算机 PC 不同),因此成本因素非常关键,它决定了下面的诸多选择。

1. 硬件系统

据不完全统计,全世界嵌入式处理器已经超过 1 000 种,流行的体系结构有 30 多个系列。在手机、PDA 行业,大部分采用 ARM 核结构为主。

把嵌入式计算机分为下面几类:嵌入式微处理器 EMPU(Embedded Microprocessor Unit),嵌入式微控制器 MCU(Microcontroller Unit),嵌入式 DSP 处理器 EDSP(Embedded Digital Signal Processor)和嵌入式片上系统 SoC(System on Chip)。

嵌入式处理器体系结构经历了从 CISC(复杂指令集)到 RISC(精简指令集)和 Compact RISC 的转变,常用的体系结构有: X86、ARM、MIPS 及 PowerPC 等。

除上述 CPU 外,不易挥发(或称非易失性)存储器有 ROM、EPROM 及 Flash;易挥发(或称易失性)存储器有 SRAM、SDRAM 和 DRAM 等。

其他外部设备有单色/彩色 LCD 液晶屏、触摸屏、键盘控制、串行口、并口、网口、U 盘驱动、IDE 硬盘、A/D 和 PCI 总线等。

2. 软件系统

嵌入式系统是现代多学科相互融合的产物,它以应用技术产品为核心,以计算机技术为基础,是适应应用环境的产品。嵌入式系统无多余软件,并且软件一般固化在 ROM 或 Flash 芯片上,硬件也无多余 RAM 存储器容量,具有要求系统运行可靠性高、成本低、体积小和功耗少等特点。在嵌入式系统中,采用 OS 的嵌入式系统一般都是任务相对复杂,CPU 数据长度为 16/32/64 位的高档微控制器,有实时性要求。而 4/8/16 位的单片机系统,一般均无 OS 要求,控制和编程相对简单。

除 OS 系统软件外,对嵌入式系统而言,更重要的任务是应用程序的编写,因为,每个行业都有自身的特点,产品的特点也不尽相同。

1.2 嵌入式系统的特点

1. 嵌入式系统是一个不可垄断的高度分散的应用领域

从某种意义上说,通用计算机行业的技术是垄断的。计算机 PC 产业中,80% 采用 Intel

的 8X86 体系结构,芯片基本上出自 Intel、AMD 和 Cyrix 等几家公司。在几乎每台计算机必备的操作系统和文字处理器方面,Microsoft 的 Windows 系列及 OFFICE 办公软件占 80%~90%,凭借操作系统 Microsoft 还可以搭配其他应用程序如 IE。因此,当代的通用计算机工业的基础被认为是由 Wintel(Microsoft 和 Intel 在 20 世纪 90 年代初建立的联盟)垄断的工业。

嵌入式系统则不同,它是一个分散的工业,在这个领域充满了竞争、机遇与创新,没有哪一个系列的处理器和操作系统能够垄断全部市场,呈现一种“百花齐放”的景象。即便在体系结构上存在着主流,但各不相同的应用领域决定了不可能由少数公司、少数产品垄断全部市场。因此,嵌入式系统领域的产品和技术,必然是高度分散的,留给各个行业的中小规模高技术公司的创新余地很大。另外,社会上的各个应用领域是在不断向前发展的,要求其中的嵌入式处理器核心也同步发展,这也构成了推动嵌入式工业发展的强大动力。

嵌入式系统工业的基础是以应用为中心的“芯片”设计和面向应用的软件产品开发。

2. 嵌入式系统具有面向用户、面向产品、面向应用的产品特征

嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的,如果独立于行业应用而自行发展,则会失去市场。嵌入式处理器的功耗、体积、成本、可靠性、速度、处理能力和电磁兼容性等方面均受到应用要求的制约,这些也是各个半导体厂商之间竞争的热点。

和通用计算机不同,嵌入式系统的硬件和软件都必须高效率地设计,不必考虑通用性和大而全的功能,而是量体裁衣、去除冗余,力争在同样的硅片面积上实现更高的性能,这样才能在具体应用对处理器的选择面前更具有竞争力。嵌入式处理器要针对用户的具体需求,对芯片配置进行裁剪和添加才能达到理想的性能;但同时还受用户订货量的制约。因此不同的处理器面向的用户是不一样的,可能是一般用户、行业用户或单一用户。

嵌入式系统和具体应用有机地结合在一起,它的升级换代也是和具体产品同步进行,因此嵌入式系统产品一旦进入市场,具有较长的生命周期。嵌入式系统中的软件,一般都固化在只读存储器中,而不是以磁盘为载体可以随意更换,所以嵌入式系统的应用软件生命周期也和嵌入式产品一样长。另外,各个行业的应用系统及产品,和通用计算机软件不同,很少发生突然性的跳跃,嵌入式系统中的软件也因此更强调可继承性和技术衔接性,发展比较稳定。

嵌入式处理器的发展也体现出稳定性,一个体系一般要存在 8~10 年的时间。一个体系结构及其相关的片上外设、开发工具、库函数和嵌入式应用产品是一套复杂的知识系统,用户和半导体厂商都不会轻易地放弃一种成熟的处理器。

3. 嵌入式系统软件的特征

嵌入式处理器的应用软件是实现嵌入式系统功能的关键,对嵌入式处理器系统软件及应用软件的要求也和通用计算机有所不同。

(1) 软件要求固态化存储

为了提高执行速度和系统可靠性,嵌入式系统中的软件一般都固化在非易失性存储器芯片或单片机本身中,而不是存储于磁盘等载体中。

(2) 软件代码高质量、高可靠性

尽管半导体技术的发展使处理器速度不断提高,片上存储器容量不断增加,但在大多数应用中,存储空间仍然是宝贵的,还存在实时性的要求。为此要求程序编写和编译工具的质量要高,编译后的代码要优化,以减少程序二进制代码长度,提高执行速度。

(3) 系统软件(例如 OS)要有一定的实时性

在多任务嵌入式系统中,对重要性各不相同的任务进行统筹兼顾的合理调度是保证每个任务及时执行的关键。这种任务调度应该由优化编写的系统软件来完成,但通过提高处理器速度也可以在一定程度上予以弥补。

(4) 多任务操作系统是知识集成的平台和走向工业化道路的基础

4. 嵌入式系统开发需要开发工具和环境

通用计算机具有完善的人机接口界面,在上面增加一些开发应用程序和环境即可进行对自身的开发。而嵌入式系统本身不具备自举开发能力,即使设计完成以后用户通常也是不能对其中的程序功能进行修改的,必须有一套开发工具和环境才能进行开发,这些工具和环境一般是基于通用计算机上的软硬件设备以及各种逻辑分析仪、混合信号示波器等。

5. 嵌入式系统软件需要实时操作系统 RTOS(Real Time OS)开发平台

目前,我们提到的嵌入式系统,一般都是指 16/32/64 位 CPU、几 MB 内存和 Flash、采用 OS 的高性能嵌入式系统。

6. 嵌入式系统开发人员以应用专家为主

通用计算机的开发人员一般是计算机科学或计算机工程方面的专业人士,而嵌入式系统则要和各种不同行业的应用相结合,要求更多的计算机以外的专业知识,其开发人员往往是各个应用领域的专家。因此开发工具的易学、易用、可靠和高效是基本要求。

1.3 嵌入式系统的发展

嵌入式系统是将先进的计算机技术、半导体技术、电子技术和各个行业的具体应用相结合后的产物,这一点就决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散和不断创新的知识集成系统。因此它包含了应用广泛的各种不同类型的设备。系统中采用片上系统 SoC 将是其发展趋势。嵌入式系统将形成庞大的产业群,并屹立于世界之林。