

# 单片机与嵌入式系统应用

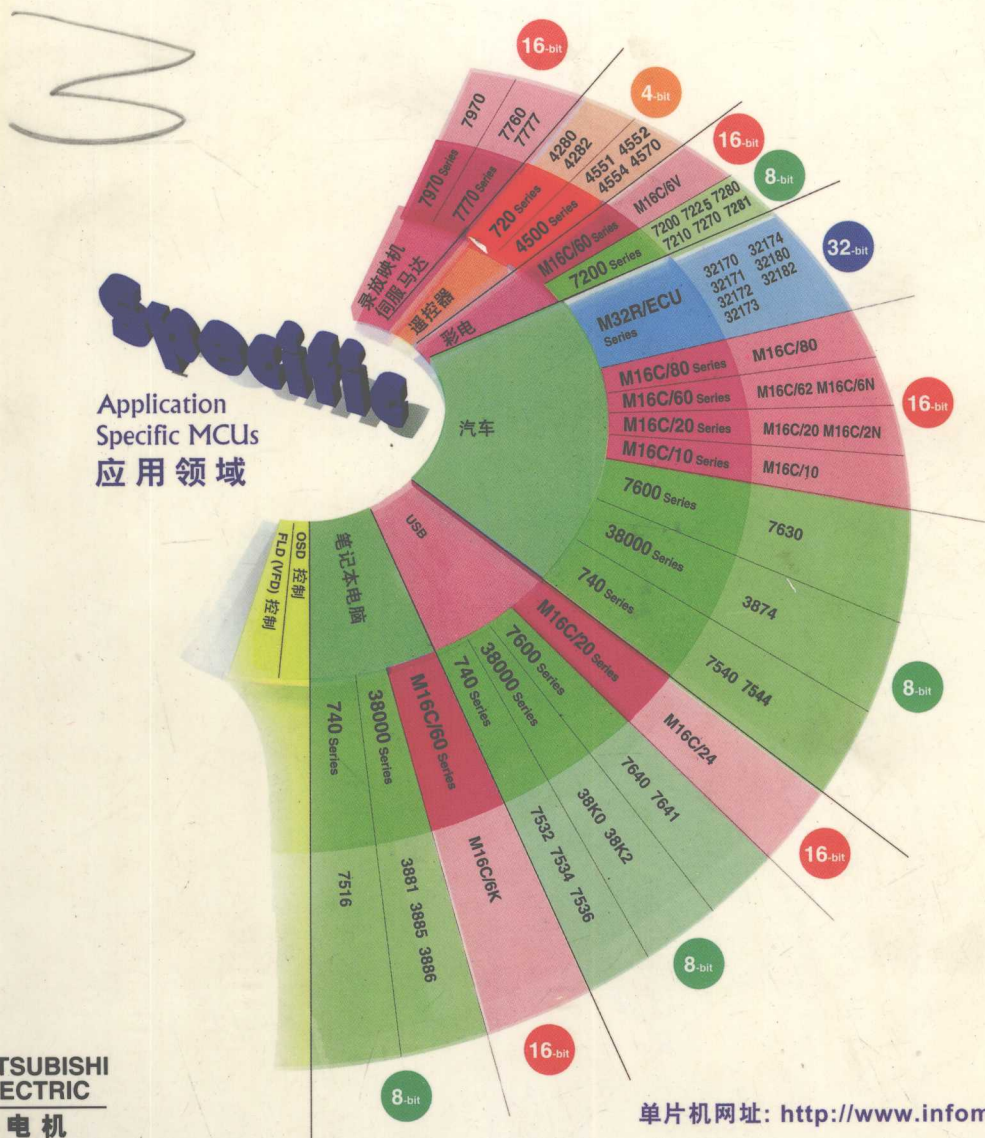
## Microcontrollers & Embedded Systems

<http://www.dpj.com.cn>    [mcu@publica.bj.cninfo.net](mailto:mcu@publica.bj.cninfo.net)

2002(7-12)

### 合订本

## 三菱电机单片机 明日科技今天展现



单片机网址: <http://www.infocom.mesc.co.jp>

三菱电机(香港)有限公司  
香港北角电气道169号  
利源中心41字楼  
电话: (852) 2510-0555  
传真: (852) 2510-9822  
2510-9830  
网址: <http://www.mehk.com>  
电子邮件: [scdinfo@mehk.meap.com](mailto:scdinfo@mehk.meap.com)  
国际网址: [www.mitsubishichips.com](http://www.mitsubishichips.com)

深圳代表处  
深圳市深南中路2070号  
电子科技大厦(第二期)31层C室  
邮政编号: 518031  
电话: (86) 755-83683964  
传真: (86) 755-83683800

港菱电子技术发展(北京)有限公司  
三菱电机(香港)附属机构  
北京首都体育馆南路6号  
新世纪饭店写字楼1655号  
邮政编号: 100044  
电话: (010) 6849-2830  
传真: (010) 6849-2818, 6849-2819

科菱电机(上海)有限公司  
三菱电机附属机构  
上海市浦东新区银城东路101号  
汇丰大厦39楼  
邮政编号: 200120  
电话: (021) 6841-5300  
传真: (021) 6841-0100

外高桥总部和分枝中心  
上海市外高桥保税区港城路239号  
兴江国贸大楼4F(A)  
邮政编号: 200131  
电话/传真: (021) 5048-1207

《单片机与嵌入式系统应用》

合订本

(2002年7~12期)

《单片机与嵌入式系统应用》杂志社

11. 6

**《单片机与嵌入式系统应用》合订本 (2002 年 7~12 期)**

---

**主管单位：**国防科学技术工业委员会  
**主办单位：**北京航空航天大学  
**承办单位：**北京航空航天大学出版社  
**编辑出版：**《单片机与嵌入式系统应用》杂志社  
**社 长：**乔少杰  
**主 编：**何立民

---

**地 址：**北京市海淀区学院路 37 号  
**邮 编：**100083  
**电 话：**010-82313656 010-82317029  
**传 真：**010-82317043  
**电子信箱：**mcu@publica.bj.cninfo.net mcupress@263.net.cn  
**网 址：**www.microcontroller.com.cn www.dpj.com.cn  
**排 版：**本刊照排中心  
**印 刷：**北京宏文印刷厂 定价：45.00 元

---

# 目 录

## 1. 嵌入式应用技术综述

- 1.1 嵌入式实时操作系统及其应用 ..... 朱 巍 (8.3)
- 1.2 用自由软件开发嵌入式应用 ..... 邵贝贝 (10.6)
- 1.3 Windows CE 在嵌入式工业控制系统中的应用思考 ..... 吕跃刚 张新房 徐大平等 (9.9)
- 1.4 嵌入式微内核实时操作系统分析与测试 ..... 张建华 李庆斌 程玉若等 (12.12)
- 1.5 大容量 Flash 型 AT91 系列 ARM 核微控制器 ..... 徐英慧 马忠梅 叶勇建 (10.15)
- 1.6 StrongARM 及其嵌入式应用平台 ..... 杨日杰 李淑华 王日宏 (7.20)
- 1.7 基于 LonWorks 的在系统编程技术 ..... 崔冬建 王立德 黄 斌 (10.23)
- 1.8 DSP/BIOS 环境下的数据通信 ..... 丁宜栋 骆万文 丛剑飞等 (11.25)
- 1.9 在 PSOS 中实现动态更换程序和调试 ..... 盖希波 (9.27)
- 1.10 从 8/16 位机到 32 位机的系统设计 ..... 肖璐雄 (7.29)
- 1.11 嵌入式系统中基于 FAT 表的存储器管理 ..... 林继宝 葛永明 (7.32)
- 1.12 一个动态内存管理模块的实现 ..... 徐 文 (9.33)
- 1.13 TINI 的硬件结构和软件环境 ..... 姜 捷 王永红 凌志浩 (9.35)
- 1.14 如何给 PCI 卡选用合适的总线控制器 ..... 贺迎芳 辛 勤 (12.37)
- 1.15 嵌入式系统的超时控制及其应用 ..... 同向前 (7.41)
- 1.16 DMA 在实时图像处理中的应用 ..... 王文进 刘代志 王 超等 (11.43)
- 1.17 PC 机与单片机串行通信中实现命令批处理 ..... 严天华 (8.46)
- 1.18 用 SOC 实现视频图形引擎功能的研究 ..... 谢 军 杜黎明 史小白 (10.49)
- 1.19 读写保护与软件抗干扰措施 ..... 杜耀华 (10.52)
- 1.20 微控制器硬件抗干扰技术 ..... 刘书刚 (9.53)

- 1.21 常用电机微控制器之比较 ..... 徐锡胜 (8.57)

## 2. 嵌入式系统应用开发

- 2.1 键盘信息泄漏与防泄漏键盘设计 ..... 崔 屹 (7.65)
- 2.2 射频电路印刷电路板的电磁兼容性设计 ..... 吴建辉 (8.68)
- 2.3 窗函数看门狗电路增强微处理器的监控功能 ..... Herman Neufeld 文 范立青译 (9.70)
- 2.4 IC 卡水表的可靠性设计要点 ..... 杨 波 (8.72)
- 2.5 HMAC 认证协议的单片机实现 ..... 武 斌 夏宇闻 绍寅亮 (11.74)
- 2.6 单片机延时程序时间长度的记忆方法 ..... 王超峰 (8.77)
- 2.7 使用 PWM 得到精密的输出电压 ..... 朱立强 (11.79)
- 2.8 MCS-51 四字节浮点库及其使用说明 ..... 李 杰 (12.80)
- 2.9 AVR 单片机定点运算及数制转换子程序 ..... 张克彦 (10.82)
- 2.10 给 AVR 单片机构造移位寄存器方式的输出函数 ..... 任润柏 (10.84)
- 2.11 利用 96 系列单片机的 HSIO 口作软件串行口 ..... 宣 扬 张俊敏 (10.85)
- 2.12 ST9+ 系列单片机 I<sup>2</sup>C 总线驱动程序实现 ..... 刘 宇 夏健刚 (9.87)
- 2.13 亿恒 C166 系列单片机 I<sup>2</sup>C 总线的软件模拟 ..... 赵方度 姜 丁 朱先民等 (12.90)
- 2.14 MC68HC908LJ12 监控 ROM 中的子程序调用 ..... 宫 辉 邵贝贝 (9.91)
- 2.15 如何在 MCS-51 系统中使用 IDE 硬盘 ..... 罗燕军 (12.94)
- 2.16 基于 P89C51RD2 IAP 功能的数据存取与软件升级 ..... 蔡声波 褚东升 王军成等 (11.97)
- 2.17 用 89C51 和 8254-2 实现步进式 PWM 输出 ..... 刘黎明 史 进 刘慧环 (10.100)
- 2.18 PIC 的 OTP 技术及 OTP 的两次编程 ..... 王 玮 王福源 王继雄 (8.103)
- 2.19 基于 ARM 处理器的 HDLC 通信的 DMA 实

※为网络补充版, 相关内容到本刊网站 (www.dpj.com.cn) 上下载。

- 现..... 孙彦景 (8.105)
- 2.20 基于 ARM 处理器的手持设备程序优化.....  
..... 冯德锦 (9.108)
- 2.21 基于 IEEE 1451.1 的网络化智能传感器设计.....  
..... 童利标 徐科军 梅涛 (8.110)
- 2.22 一种 8 位 I/O 口的单片机显示器和键盘接口※.....  
..... 杜永泰 (12.113)
- 2.23 矩阵键盘产生 PC 机键盘信号的应用设计※.....  
..... 张卫东 (11.114)
- 2.24 关于 ISA 数据交换的一些小例子.....  
..... 刘 阔 (12.115)
- 2.25 新型数据缓存器的研制..... 朱运利 (7.117)
- 2.26 TPS60101 用于低功耗系统的电源解决方案.....  
..... 刘昵科 盛翊智 谭 三 (10.119)
- 2.27 电池供电产品的 LED 控制问题.....  
..... Andy Fewster 文 魏 智 编译 (11.122)

### 3. 嵌入式系统软件技术

- 3.1 嵌入式软件的覆盖测试.....  
..... 陈丽蓉 熊光泽 罗 蕾等 (11.127)
- 3.2 构建基于以太网的 uClinux 开发环境※.....  
..... 陆宝格 罗 嘉 王云飞 (10.130)
- 3.3 如何编译 uClinux 内核.....  
..... 陆宝格 何 锐 (11.133)
- 3.4 uClinux 上的应用程序设计※.....  
..... 罗 嘉 薛 涛 龚光华 (12.137)
- 3.5 嵌入式操作系统 Linux 中的串口应用编程.....  
..... 唐建东 卢贵主 (8.141)
- 3.6 适合嵌入式 Linux 应用的文件系统——JFFS.....  
..... 李志辉 查建中 (11.143)
- 3.7 实时操作系统  $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$  在 ADSP218x 上的移植.....  
..... 邓勇全 刘玉良 谭文虎等 (9.147)
- 3.8 无线信息设备的理想操作系统 Symbian OS.....  
..... 冯德锦 (8.150)
- 3.9 使用 Platform Builder 配置 Windows CE 操作系统.....  
..... 张新房 吕跃刚 徐大平等 (10.153)
- 3.10 用 GNU 工具开发基于 ARM 的嵌入式系统.....  
..... 许庆丰 (12.156)
- 3.11 基于 RTX51 的单片机软件设计.....  
..... 刘明路 王亮生 李世煜 (12.160)
- 3.12 EP72/7312 嵌入式系统中 SoftModem 的实现.....  
..... 胡 冰 吴升艳 岳春生 (7.162)
- 3.13 嵌入式 RTOS 在 MSP430 单片机上的实现.....  
..... 李 强 张俊谟 陈 瑶 (7.165)

- 3.14 基于节点编号的通用树状菜单设计方法与实现※.....  
..... 彭良清 (9.169)
- 3.15 图形 LCD 模块的菜单方式人机交互界面.....  
..... 韦永办 (11.174)
- 3.16 嵌入式实时系统中的优先级反转问题.....  
..... 刘 辉 孟凡荣 席景科 (11.176)
- 3.17 一种嵌入式系统的内存分配方案.....  
..... 卢春鹏 (12.178)

### 4. 网络通信与数据传输

- 4.1 PS/2 接口 C 语言通信函数库设计※.....  
..... 吕 刚 施光林 (9.185)
- 4.2 便携数据库管理系统的网络连接与安全.....  
..... 何卫良 杨天怡 吴宝明 (12.187)
- 4.3 多通信媒质信息家电网络控制器的研究.....  
..... 张东来 徐殿国 牟英峰等 (8.190)
- 4.4 嵌入式 Web 服务器的分析与研究.....  
..... 刘文涛 胡家宝 (9.194)
- 4.5 基于 PC104 总线的嵌入式以太网卡设计.....  
..... 胡昌银 胡基士 (8.197)
- 4.6 POWERPC 860T 实现多以太网口通信.....  
..... 王保华 方惠如 (9.200)
- 4.7 一种以太网与 8 位单片机的连接方法.....  
..... 何锐波 赵英俊 (7.203)
- 4.8 IP 电话的 TCP/IP 协议的实现方法.....  
..... 范莉莉 刘 武 陈建文等 (9.206)
- 4.9 智能网络设备开发中的硬件设计.....  
..... 李 纲 (10.208)
- 4.10 用 87C196NT 单片机实现 CAN 总线通信※.....  
..... 张学锋 廖常初 罗盛波 (8.213)
- 4.11 基于 82527 的 CAN 总线智能传感器节点设计.....  
..... 初宪武 汪玉凤 王 丽 (12.215)
- 4.12 内嵌 CAN 控制器的 TMS320LF2407 的 CAN 通信实例.....  
..... 张学锋 严利平 刘和平 (11.218)
- 4.13 基于 CAN 总线的双机冗余系统设计方法.....  
..... 孙立辉 原 亮 (9.220)
- 4.14 LonWorks 总线多点 I/O 智能节点的开发.....  
..... 黄天成 祁 昶 (8.222)
- 4.15 基于 MIP 固件实现 Neuron 芯片的快速并行通信.....  
..... 祁明晰 刘 明 (7.225)
- 4.16 SX 系列通信控制器.....  
..... 何嘉斌 何 方 张雄希等 (8.227)
- 4.17 基于 SX52 的单片机测控网络系统研究.....  
..... 张东来 牟英峰 徐殿国 (7.231)

- 4.18 全隔离微机与单片机的 RS-485 通信技术  
..... 陈倩治 陈再清 (7.234)
- 4.19 RS232 与 RS485 接口间的数据自动收发转换  
设计..... 秦旭 (9.236)
- 4.20 基于 SMS 通信的直放站监控系统设计 .....  
..... 谭宝成 王鹏 (10.237)
- 4.21 基于 DeviceNet 总线的从设备通信适配器设计\*  
..... 张戟 (8.241)
- 4.22 由 Rabbit2000 微处理器构成的网络消防报警  
系统... 缪红松 王忠飞 熊四昌 (10.245)
- 4.23 W77E58 在 RTU 遥信单元中的应用 .....  
..... 刘虎路 郭健伟 (9.247)
- 4.24 用单片机实现温度远程显示\*.....  
..... 刘楚浩 (9.249)
- 4.25 RS232 接口转 USB 接口的通信方法 .....  
..... 任治国 王大方 陈晓国 (12.252)
- 4.26 带 USB 接口的发动机点火波形测量系统 ...  
..... 李业德 王振友 (7.255)

## 5. DSP 技术及应用

- 5.1 DSP 系统监控芯片的选择与使用要点 .....  
..... 孙光 赵志敏 (9.261)
- 5.2 为 DSP 程序构造的加密体制 .....  
..... 刘长军 林嘉宇 (11.263)
- 5.3 深入 DSP 片内外设的编程 .....  
..... 李忠 杨家玮 (7.265)
- 5.4 利用 DSP 实现 IIR 滤波器的精度扩展\* .....  
..... 吴莉莉 刘益成 (10.269)
- 5.5 基于 DSP 的网络通信程序设计 .....  
..... 刘波 浮静 (11.272)
- 5.6 TM1300 DSP 系统以太网接口的设计 .....  
..... 殷海兵 钟晓楨 (11.275)
- 5.7 TMS320VC5402 与 AC'97 Codec 的接口设计  
..... 万静华 丁亚军 (7.277)
- 5.8 带 ARM 核的双 CPU 数字信号处理器 .....  
..... 徐英慧 马忠梅 (8.280)
- 5.9 TMS320C2XX 开发设计技巧 .....  
..... 黄红兵 殷小贡 沈文光等 (11.284)
- 5.10 定点 DSP 除法原理及其 TMS320C6000 实现  
..... 石元君 (10.287)
- 5.11 声效芯片 CS4235 在 DSP 的嵌入式系统中的  
应用..... 刘国福 张玘 王跃科等 (12.289)
- 5.12 TMS320C6201 在 MPEG-4 视频解码器中的  
应用... 李朝晖 李冬梅 何佩琨 (10.293)
- 5.13 TMS320C5402 在电视数字传输复用器中的应

- 用.....  
..... 马时平 张重阳 肖卫华等 (10.296)
- 5.14 TMS320C54x DSP 的视频图像采集接口设计  
..... 齐美彬 (8.300)
- 5.15 基于 DSP 的视频检测和远程控制系统设计  
..... 李志为 盛翊智 (12.302)
- 5.16 基于 TMS320F240 的多种 PWM 实现 .....  
..... 王玉林 (8.305)
- 5.17 基于 DSP 的水电站渗漏排水系统专用控制器  
设计..... 周嵘 吴旭光 杨亚乐 (7.308)

## 6. 新器件及应用技术

- 6.1 蓝牙收发芯片 RF2968 的原理及应用 .....  
..... 黄智伟 王彦 廖金盛 (11.315)
- 6.2 P51XA-C3 芯片的特点和应用 .....  
..... 代芬 张承学 樊大伟等 (7.319)
- 6.3 80C196MC 的外设事务服务器及其应用 .....  
..... 唐爱民 胡金高 (11.322)
- 6.4 内嵌 UHF ASK/FSK 发射器的 8 位微控制器  
..... 黄智伟 万碧根 李金龙 (10.324)
- 6.5 SST89C54/58 系列单片机的 IAP 应用技术 ...  
..... 杜建光 (10.327)
- 6.6 HART 调制解调器 SYM20C15 应用设计.....  
..... 陈青松 (11.329)
- 6.7 时隙数字交换电路 MT8980D 在程控机中的应  
用 ..... 周学义 (7.332)
- 6.8 用 Philips PCD600x 实现多线电话并机 .....  
..... 曹立军 (12.335)
- 6.9 新型高精度时钟芯片 RTC-4553 .....  
..... 赵四海 (11.338)
- 6.10 基于 IIC1.0 的时钟芯片应用程序设计 .....  
..... 易志明 林凌 郝丽宏 (9.340)
- 6.11 数字电位器 X9241 与 PIC 单片机的接口及程  
序设计\*..... 吕振 刘宝良 徐崇丽 (7.344)
- 6.12 DS18B20 接口的 C 语言程序设计 .....  
..... 顾振宇 刘普源 杜振辉 (7.346)
- 6.13 C8051F020 中的 ADC 应用要素 .....  
..... 汪滨琦 陈红伟 姜广文 (11.348)
- 6.14 C8051F 使用中的一些技术问题 .....  
..... 李珍 (11.350)
- 6.15 大容量串行 Flash MM36SB010 系列特点及应  
用..... 姚永平 (9.352)
- 6.16 一种基于铁电存储器的双机串行通信技术...  
..... 陈冲 (12.355)

- 6.17 USB2.0 控制器 CY7C68013 特点与应用 ...  
..... 扈 啸 张 玘 张连超 (10.358)
- 6.18 音频数模转换器 PCM1748 的通用性应用※  
..... 李素芬 李 刚 孙景发 (10.361)
- ## 7. PLD 技术及 EDA
- 7.1 用单片机实现可编程逻辑器件的配置 .....  
..... 刘晓明 王 军 谢明钦 (9.367)
- 7.2 单片机应用系统的 CPLD 应用设计 .....  
..... 郑春华 张 杰 李 东 (7.370)
- 7.3 PSD813F2 在 FPGA 配置中的应用※ .....  
..... 万 曦 (11.374)
- 7.4 用 PowerPC860 实现 FPGA 配置 .....  
..... 徐以书 (10.376)
- 7.5 在 CPLD 管理下实现高效多串口中断源 .....  
..... 黄 郑 夏建刚 (10.379)
- 7.6 PC 机与 CPLD 通信问题的研究 .....  
..... 李明锋 (8.381)
- 7.7 一种用 VHDL 设计嵌入式 Web Server 的方案  
..... 何 斌 罗文钦 吴桂清 (12.384)
- 7.8 ISP 型 PLD 的图像处理系统硬件设计※ .....  
..... 毕 胜 梁德群 杨海军 (8.386)
- 7.9 基于 FPGA 的数字图像显示系统 ※ .....  
..... 林 明 (9.388)
- 7.10 循环冗余校验码的单片机及 CPLD 实现 ...  
..... 来卫国 徐 冉 (9.391)
- 7.11 应用 CPLD 实现交通控制系统芯片设计 ...  
..... 陈意军 王迎旭 (9.393)
- 7.12 基于 Verilog—HDL 的轴承振动噪声电压峰  
值检测 .....  
..... 常晓明 谢 刚 孙连贵等 (12.396)
- 7.13 基于 FPGA 的核物理实验定标器的设计与实  
现 .....  
..... 雷环利 计 丹 黄光明等 (12.399)
- ## 8. 典型应用设计
- 8.1 单总线协议转换器在分布式测控系统中的应用  
..... 张佳进 杨燕云 胡亚东 (11.405)
- 8.2 TM 卡信息纽扣在预付费水表中的应用 .....  
..... 鱼瑞文 龚成龙 (12.407)
- 8.3 数字信号 OOK/ASK 无线收发电路设计 .....  
..... 黄智伟 朱卫华 邹其洪 (8.410)
- 8.4 单片机来电显示器的设计与实现 .....  
..... 郭玉厂 (11.412)
- 8.5 红外遥控器软件解码及其应用※ .....  
..... 李经达 (12.414)
- 8.6 用 EP7211 实现传呼信息实时语音合成和播放  
..... 胡泽明 王 鹏 (12.416)
- 8.7 移动电话便携通话装置的按键扫描设计※ ...  
..... 刘 宇 夏健刚 (12.420)
- 8.8 单片机用作通用红外遥控接收器的设计※ ...  
..... 朱纯益 路建华 (8.422)
- 8.9 多功能函数发生器的波形分析计算与软件设计  
..... 任国臣 陈晓英 (8.424)
- 8.10 电磁流量计的智能化前端信号电路设计 .....  
..... 孙向东 何晓芹 (7.427)
- 8.11 一种宽动态范围的智能测量系统设计 .....  
..... 曹雄恒 罗飞路 胡媛媛等 (10.430)
- 8.12 基于 TLC5540 的高速数据采集卡设计 .....  
..... 李 梅 王广君 (10.433)
- 8.13 LonWorks 总线电力数据采集模块的设计 ...  
..... 李桂桦 张春萍 熊 勇 (7.434)
- 8.14 87C196MC 与 IPM 模块组成的变频调速系统  
..... 吕 振 刘宝良 王 联等 (8.437)
- 8.15 电机节能控制器的设计 .....  
..... 赵学军 党选举 向 荣等 (9.439)
- 8.16 啤酒发酵控制器中的多任务分析与实现 .....  
..... 王念春 (7.442)
- 8.17 GPS 高精度时钟的设计和实现 .....  
..... 严 青 李志远 (11.444)
- 8.18 一种红外感应泵液器的单片机应用设计 .....  
..... 王洪君 赵 辉 (11.446)
- 8.19 用于天文观测的 CCD 相机系统研究 .....  
..... 吴建文 姚永强 (12.448)
- 8.20 基于 GSM 短消息接口的 MC3 一体化遥测系  
统 ..... 张正红 胡小军 刘 东 (11.452)

# 1. 嵌入式应用技术综述





# 嵌入式实时操作系统及其应用

解放军理工大学 朱 鑫

**摘 要** 嵌入式实时操作系统兼有嵌入式和实时性的特点。分析嵌入式实时操作系统的特点及其与通用操作系统的区别;以 VxWorks 为例,介绍目前市场上常见的嵌入式实时系统及其应用,展望嵌入式实时操作系统的前景。

**关键词** 嵌入式系统 实时操作系统 VxWorks

## 1 嵌入式操作系统简介

“嵌入式系统”是指将应用程序和操作系统与计算机硬件集成在一起的系统。简单地说,所谓嵌入式系统就是用户自己开发设计板子,板上有微处理器和各种芯片,其软件部分常常烧在 ROM 或 Flash 中,工作方式类似于 BIOS。这些专用的计算机系统是以嵌入式计算机为技术核心,围绕应用系统的功能、可靠性、成本、体积、功耗等严格要求来开发设计的。嵌入式系统一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统以及特定的应用程序等 4 个部分组成,用于实现对其它设备的控制、监视或管理等功能。很多简单的嵌入式系统,如大多数单片机系统,是不需要操作系统的。但一些功能复杂的嵌入式系统,如机顶盒,有自己的操作系统。“嵌入式操作系统”即指嵌入式系统中采用的操作系统,其特点是微内核、可裁剪、低资源占用和低功耗。按照“嵌入”方式的不同,嵌入式系统可分为以下几种:

◇ 整机式嵌入。一个带有专用接口的计算机系统嵌入到一个控制系统中,成为控制系统的核心部分。一般这种计算机系统功能完整而强大,完成系统中的核心的关键工作,也具有较完善的人机界面和外部设备。

◇ 部件式嵌入。以部件式嵌入到一个控制设备中,完成某一处理功能,与设备的其它硬件耦合紧密、功能更专一。如雷达的数字处理部件,一般选用专用 CPU 或 DSP。

◇ 芯片式嵌入。一个芯片是一个完整的专用计算机,具有完整的输入输出接口,完成专一的功能。如显示处理器、微波炉控制器等。一般为专门设计的芯片。随着电子技术的发展,芯片式嵌入应用将越来越广泛。

## 2 实时操作系统简介

“实时操作系统”是相对“分时操作系统”而言的,

我们日常接触的通用操作系统(如 Windows、Unix、Linux 等)都是分时操作系统。实时操作系统能及时(或即时)响应外部事件的请求,在规定的时间内完成对该事件的处理,并控制所有实时任务协调一致地运行。与分时系统相比,具有多路性、独立性、及时性、交互性、可靠性的特点。

分时操作系统的基本设计原则是:尽量缩短系统的平均响应时间并提高系统的吞吐率,在单位时间内为尽可能多的用户请求提供服务。由此可以看出,分时操作系统注重平均表现性能,不注重个体表现性能。如对于整个系统来说,注重所有任务的平均响应时间而不关心单个任务的响应时间;对于某个单个任务来说,注重每次执行的平均响应时间而不关心某次特定执行的响应时间。通用操作系统中采用的很多策略和技巧都体现出了这种设计原则,如虚存管理机制中由于采用了 LRU 等页替换算法,使得大部分的访存需求能够快速通过物理内存完成,只有很小一部分的访存需求需要通过调页完成,但从总体上来看,平均访存时间与不采用虚存技术相比没有很大的提高,同时又获得了虚存空间可以远大于物理内存容量等好处,因此虚存技术在通用操作系统中得到了十分广泛的应用。类似的例子还有很多,如 Unix 文件系统中文件存放位置的间接索引查询机制等,甚至硬件设计中的 Cache 技术以及 CPU 的动态分支预测技术等也都体现出了这种设计原则。

而对于实时操作系统,除了要满足应用的功能需求以外,更重要的是还要满足应用提出的实时性要求,而组成一个应用的众多实时任务对于实时性的要求是各不相同的。此外实时任务之间可能还会有一些复杂的关联和同步关系,如执行顺序限制、共享资源的互斥访问要求等,这就为系统实时性的保证带来了很大的困难。因此,实时操作系统所遵循的最重要的设计原则是:采用各种算法和策略,始终保证系统行为的可预测性(predictability)。可预测性是指在系统运行的任何时刻,在任何情况下,实时操作系统的资源调配策略都能为争夺资源(包括 CPU、内存、

网络带宽等)的多个实时任务合理地分配资源,使每个实时任务的实时性要求都能得到满足。与通用操作系统不同,实时操作系统注重的不是系统的平均表现,而是要求每个实时任务在最坏情况下都要满足其实时性要求。也就是说,实时操作系统注重的是个体表现,更准确地讲是个体最坏情况的表现。举例来说,如果实时操作系统采用标准的虚存技术,则一个实时任务执行的最坏情况是每次访存都需要调页,如此累计起来的该任务在最坏情况下的运行时间是不可预测的,因此该任务的实时性无法得到保证。

由于实时操作系统与通用操作系统的基本设计原则差别很大,因此在很多资源调度策略的选择上以及操作系统实现的方法上两者都具有较大的差异。

一个好的实时操作系统需要具备以下功能(必须但非充分):

- ◇ 多任务和可抢占的;
- ◇ 任务具有优先级;
- ◇ 操作系统具备支持可预测的任务同步机制;
- ◇ 支持多任务间的通信;
- ◇ 操作系统具备消除优先级转置的机制;
- ◇ 存储器优化管理(含 ROM 的管理);
- ◇ 操作系统的(中断延迟、任务切换、驱动程序延迟等)行为是可知的和可预测的。这是指在全负载的情形下,最坏反应时间可知;
- ◇ 实时时钟服务;
- ◇ 中断管理服务。

实时系统最关键的部分是实时多任务内核。它的基本功能包括多任务管理、定时器管理、存储器管理、资源管理、事件管理、系统管理、消息管理、队列管理、信号量管理等。这些管理功能是通过内核服务函数形式交给用户调用的,也就是实时操作系统的 API。

### 3 嵌入式实时操作系统

嵌入式操作系统并不一定是实时的。如 Windows CE,现在比较热的嵌入式 Linux 的大多数版本也都不是实时的。对于 Windows CE 和嵌入式 Linux 也有所谓“软实时”操作系统的说法,但严格来讲它们都不能算是真正的实时操作系统。这主要是因为 Windows 和 Linux 最初都是按分时系统设计的,即使作成嵌入式的应用也无法实现真正的实时性。实时操作系统也并不一定要是嵌入式的,在微机上一样可以装实时操作系统,而实际上大多数实时操作系统也都支持 PC 机使用的 X86 芯片。非实时的嵌入式操作系统的应用领域如机顶盒、PDA、掌上电脑等,这类应用对实时性并没有特殊的要求。嵌入式

实时操作系统是将嵌入式和实时性相结合的产物。由于其优良的特性,广泛应用于制造业、通信、航空航天、军事武器装备等领域。它的主要特点如下:

- ◇ 响应时间快,并且有确定的硬实时性要求;
- ◇ 具有异步处理并发事件的能力;
- ◇ 具有快速启动、出错处理和自动复位功能;
- ◇ 嵌入式系统的应用软件与操作系统之间的界限模糊,往往是一体化设计的程序;
- ◇ 软件开发困难,要使用交叉的开发环境(即开发环境与运行环境不同,开发平台叫宿主系统,而嵌入式系统的运行系统叫目标系统)。

嵌入式系统的一般开发流程如图 1 所示。

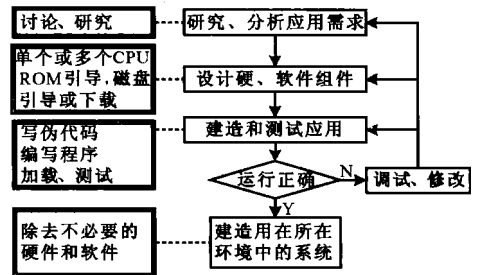


图 1 嵌入式系统的开发流程

与个人电脑的操作系统不同,嵌入式操作系统并没有被某个厂商所垄断。原因是相对 Unix 和 Windows 这样的操作系统而言,嵌入式实时操作系统的规模要小得多,系统更简单,开发也更为容易。目前嵌入式实时操作系统数量众多,很多大公司都有自己的实时操作系统。一些常见的嵌入式实时操作系统如表 1 所列。

表 1

操作系统名称	生产商
DeltaOS	北京科银京成技术有限公司
QNX	QNX SOFTWARE SYSTEMS LTD
VxWorks	Wind River Systems, Inc.
pSOSsystem	Wind River Systems, Inc.
Hopen	北京凯思奥鹏软件工程技术有限公司
CMX	CMX Systems, Inc.
LynxOS	Lynx RealTime Systems
Nucleus PLUS	Accelerated Technology Inc
OS-9	Microware Systems Corp.
OSE	Enca OSE Systems
RTXC	Embedded Power Corporation
SuperTask&TRONTASK	US Software
VRTX	Microtec Research
I-TRON	(日本)TRON协会-ITRON技术委员会

还有一些 RTOS 是公开源代码和免费的,如  $\mu\text{C}/\text{OS}$ 。在众多的 RTOS 中,使用最广、最有名的当属美国 WindRiver 公司的 VxWorks。VxWorks 是美国市场销售量第一的实时操作系统。在美国的火星探测器、爱国者导弹中均使用了 VxWorks。目前

在我国市场上该系统也占有较大份额。下面以 VxWorks 为例,简要介绍一下嵌入式实时操作系统的一般构成、开发环境和应用领域。

VxWorks 支持 32 位的 CPU,包括 Intel 公司的 x86、Motorola 公司的 68k 和 PowerPC、MIPS、ARM、Intel 公司的 i960、Hitachi 公司的 SH。和通用操作系统不同,嵌入式实时操作系统一般没有自开发能力,也就是说其开发环境是基于 Unix 或 Windows 这样的通用操作系统的。VxWorks 带有功能强大的集成开发环境 Torando,支持的平台包括 Windows 9x/NT/2000, Sun Solaris, SunOS, HP-UX。

VxWorks 的主要特性有:

- ◇ 可裁减微内核结构;
- ◇ 高效的任务管理——多任务,具有 256 个优先级,支持优先级排队和循环调度;
- ◇ 灵活的任务间通信方式,包括:信号量(二进制、计数、有优先级继承特性的互斥信号量)、消息队列、套接字(socket)、共享内存和信号(signals);
- ◇ 微秒级的中断处理;
- ◇ 支持 POSIX 1003.1b 实时扩展标准;
- ◇ 支持多种物理介质及标准的、完整的 TCP/IP 网络协议栈(与 BSD 兼容);
- ◇ 灵活的引导方式,支持从 ROM、Flash、本地盘(软盘或硬盘)或网络引导;
- ◇ 支持多处理器并行处理;
- ◇ 快速灵活的 I/O 系统;
- ◇ 支持 MS-DOS 和 RT-11 文件系统;
- ◇ 支持本地盘,Flash,CD-ROM 的使用;
- ◇ 完全符合 ANSI C 标准;
- ◇ 1100 多个系统调用;
- ◇ 支持 Java 和 CORBA。

VxWorks 的开发环境 Torando 包括强大的开发和调试工具,尤其适用于面对大量问题的嵌入式开发人员。这些工具包括 C 和 C++ 远程源级调试器、目标和工具管理、系统目标跟踪、内存使用分析和自动配置。另外,所有工具能很方便地同时运行,很容易增加和交互式开发。

WindRiver 公司还提供了一系列的可选开发组件,包括:

◇ BSP 开发包(BSP Developers Kit)。BSP 开发包帮助开发人员把 VxWorks 移植到客户化硬件平台上。BSP 开发包的选项包括:测试工具、硬件设备的驱动程序库、BSP 模板。用户可以根据需要选择不同的选项。WindRiver 还提供 BSP 测试验证等咨询服务。

◇ VxVMI 是 VxWorks 的虚拟内存接口。在调试阶段和软件运行时都能提供强大的内存管理功能。它包括代码段和数据段保护功能,并包含对不同 CPU 结构的标准编程接口。

◇ VxMP 是 VxWorks 多处理器支持扩展包。它允许将任务分布在多个 CPU 上执行以提高效率。它透明的、高性能的设计使得在不同 CPU 上运行的任务可以通过现有的通信机制,如信号量、消息队列等进行同步和数据交换。

◇ Tornado 移植包。易于使用的 Tornado 移植包,允许把基于 VMEexec、pSOS 及其它嵌入式操作系统的应用程序移植到 VxWorks 上。

VxWorks 的应用领域包括数据网络、远程通信、医疗器械、消费电子、交通运输、计算机外围设备、数字图像、工业测量和控制、航空、多媒体等等。下面主要介绍一下它在网络和通信方面的应用。

VxWorks 是最早在其内核中加入 TCP/IP 网络协议的嵌入式实时操作系统,其内部包括 1 个 BSD4.4 兼容的实时 TCP/IP 协议栈,网络模块结构如图 2 所示。

OSPF	RIP V1/V2	DHCP	DNS CLIENT	SNTP
SOCKET LAYER				
UDP		TCP		
IP/ICMP/IGMP				
INTERFACE LAYER				
LINK LEVEL DRIVER LAYER				

图 2 VxWorks 的网络模块

VxWorks 适合于高性能的网络交换设备到低价的网络接入设备,如 10M/100M 以太网交换机、广域网接入设备、ATM 交换机等。VxWorks 软件包是可调整的,使得开发者可以将其应用到从 IP 路由设备到完全 TCP/IP 的基于 SNMP 管理的应用系统中。VxWorks 协议栈提供本地交换机或远程接入路由器所需的最新路由技术,可被用于 gigabit 以太网交换机或 DSL 接入复用器等。VxWorks 协议栈还支持 IP 多址广播、CIDR、DHCP、DNS、SNTP 等网络协议。由于 VxWorks 具有完备的协议栈、方便的编程接口和灵活的可裁减特性,在其基础上可以方便地开发自己的各层协议。在 VxWorks 基础上开发的第三方产品包括:OSI、SS7、ATM、Frame Relay、CORBA、ISDN、X.25、CMIP/GDMO、分布式网络管理、无线接入等。

### 结束语

美国著名未来学家尼葛洛庞帝 1999 年 1 月访华

时预言,4~5年后嵌入式智能(电脑)工具将是PC和因特网之后最伟大的发明。今天,嵌入式系统带来的工业年产值已超过了1万亿美元。在计算机网络和通信领域,嵌入式实时操作系统以其优良的性能必将发挥越来越大的作用。

参考文献

1 汤子瀛,哲凤屏,汤小丹. 计算机操作系统. 西安:西安电

子科技大学出版社,1999

2 孔祥营,柏桂枝. 嵌入式实时操作系统 VxWorks. 北京:中国电力出版社,2001  
3 Wind River System Inc. Tornado User's Guide (Windows Version) 1.0. 1996-01

## 用自由软件开发嵌入式应用

清华 Motorola MCU&DSP 应用开发研究中心 邵贝贝

传统的嵌入式开发环境需要单片机的仿真器,包括C语言、汇编语言、调试工具等的集成开发环境IDE、实时操作系统等。仿真器恐怕要上万元,C编译器或IDE也要几万元,而实时操作系统则要上十万元乃至几十万元。由于Flash技术的发展,特别是一些CPU可以用JTAG口在背景模式BDM(Background Debug Mode)下调试,故仿真器已可以省去。随着BDM调试工具的标准化,BDM调试工具会变得越来越简单、越来越通用,一些BDM调试工具已经简单到仅仅在PC机并行口和单片机的JTAG接口之间加一道5~3.3V的缓冲,自制BDM调试工具变得越来越容易。软件方面,Linux下的自由软件GNU gcc可以完成几乎所有知名CPU以及DSP的交叉C编译和调试,故IDE可以省去。至于操作系统,uClinux、RTLinux、μC/OS等源码开放的、免费的嵌入式操作系统也都性能稳定可靠。因此,全部使用自由软件开发嵌入式应用无疑是一种不错的选择。我们在32位MCU ColdFire上实现了上述全部开发过程。这一过程原则上也适合其它几乎所有的32位嵌入式应用系统的开发。作为范例,我们会将详细的开发步骤在本刊的《学习园地》栏目中陆续刊登若干篇文章介绍给读者,供嵌入式应用开发工程师们学习参考。

### 1 提倡使用自由软件开发嵌入式系统

自由软件有强大的网上技术支持是公认的,不断升级的新版本的推出表明了自由软件强大的生命力。然而,使用自由软件有一定的难度,首先要熟悉Linux的使用,学会看Linux下的帮助信息。然后是学会遇到问题如何解决。向高手请教是解决问题的办法之一。在清华大学,校园网中的BBS是研究生交流的极好方式。还有一个方法是在网上搜索,因为

您遇到的问题其他人以前或许也遇到过,解决办法可能网上就有。再有一个办法就是直接给作者发电子邮件。自由软件有源码、大多都有作者的E-mail地址。我们体会使用Linux下的GNU gcc等软件的难点主要在使用环境的建立上,一旦使用环境建立起来了,仅仅是使用并不难。在国外,这部分工作有专门的系统管理员为你做好,而国内这部分工作往往要自己做,故增加了Linux系统的使用难度。以GNU gcc为例,根据我们的研究生的经验,建立并熟悉使用的过程大约需要2个月的时间。而熟悉一个买来的商业软件也需要2周乃至1个月的时间。也就是说,买商业软件可以节省1个月的时间。

使用自由软件开发嵌入式应用的意义决不仅限于经济上节省开支。学习使用Linux下自由软件的过程,实际上是培养IT高手的过程。提倡使用自由软件将造就一大批有共同语言的精英。自由软件的推广使用已经迫使一些传统的商业软件降低了售价。前面提到若买商业软件可以节省1个工程师1个月的时间,那么软件的价格显然应该小于1个工程师的月收入。由于劳动力成本的差异,商业软件在不同国家的价值也是不同的。实际上,软件的成本很大一部分是在技术支持与服务上。技术支持本地化无疑会降低这一成本。软件使用方法的培训,包括自由软件使用方法的培训,社会上有不少收费的培训班,既然能存在,就说明是合理的,且价格也能被用户接受。可以看出,自由软件也是衡量商业软件价值的一把尺子。

### 2 Linux 开发环境的建立

一个人用Linux开发嵌入式应用,可以在自己的PC机上装一套Linux,例如,Red Hat Linux。可以使用Linux中的X windows(xterm)开若干个窗口用于编译、下载、调试等;可以使用Linux中的emacs作

文本编译。Windows 中有的软件在 Linux 中几乎都有。但由于多数人对 Linux 环境和 Linux 中的应用程序不熟悉,宁愿用 PC 上基于 Windows 的操作系统,此时可以在 Windows 环境下装上 Cygwin 软件。GNU 中的 Cygwin 是在 Windows 下运行 Linux 的自由软件。但我们发现,Cygwin 的兼容性似乎不太好,在有的 PC 机上能装得上,有的 PC 机上装不上。Cygwin 的安装过程要两三个小时,有时装到一半出现错误很不好处理。据说 VMWare 的 Windows 版本也可以在 Windows 环境下开出 Linux 的窗口,但 VMWare 不是自由软件。

我们采用的办法是用 1 台 PC 机运行 Linux 作为服务器。开发小组中每个成员都可以通过局域网用 Telnet 登录到这台 Linux 服务器上去,被开发的目标板也挂在网上。在服务器的 Linux 环境下,用 GNU gcc 编译生成目标代码,再用 FTP 传回到自己的 PC 机上,然后通过串口或网络下载到目标机上。BDM 工具主要用于硬件调试。因为 BDM 工具的支持软件也是 Linux 下的自由软件,故 BDM 工具只能接在 Linux 服务器的并口上。硬件调试完成后,可以把 Debug 程序写入 Flash,然后就不需要 BDM 工具了。

检验开发环境是否建立好了得有 1 块目标板。在开发环境建立起来之前,冒然设计自己的硬件,难度较大。可以用商家提供的评估板作为目标板先把开发环境建立起来。可以通过用 GNU gcc 编译 uClinux 然后下载到目标板上运行的办法来熟悉 Linux 下 GNU gcc 的开发环境,检验开发环境是否已建立好。如果是购买第 3 方的硬件,则要特别小心。有些恶劣厂商的产品确实可以运行 uClinux,但其在软件或硬件中做了些陷阱,使用户只能用他的硬件。

图 1 是 Linux 开发环境示意图。

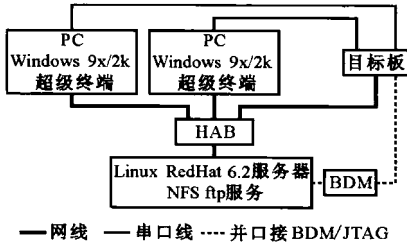


图 1 开发环境示意图

### 3 GNU gcc 交叉编译器

运行于 Linux 操作系统下的自由软件 GNU gcc 编译器,不仅可以编译 Linux 操作系统下运行的应用

程序、编译 Linux 本身,还可以作交叉编译,编译运行于其它 CPU 上的程序。可以作交叉编译的 CPU(或 DSP)涵盖了几乎所有知名厂商的产品。用于嵌入式应用的、众所周知的 CPU 包括: Intel 的 i386、Intel960、AMD29K、ARM、M32、MIPS、M68K、Cold-Fare、PowerPC、68HC11/12、TI 的 TMS32 等等。详细列表可查看 <http://gcc.gnu.org/reading> 网站。

GNU gcc 编译器是一套完整的交叉 C 编译器,包括:

- ◇ C 交叉编译器 gcc;
- ◇ 交叉汇编工具 as;
- ◇ 反汇编工具 objdump;
- ◇ 连接工具 Ld;
- ◇ 调试工具 gdb。

可以用批处理文件 makefile 将上述工具组合成方便的命令行形式。makefile 是用 bash 语言写的。bash 语言是很像 BASIC 语言的一种命令解释语言,范例可以从网上获得。

### 4 嵌入式操作系统

嵌入式应用中的操作系统多为实时操作系统。 $\mu\text{C}/\text{OS}$  是一个免费的小实时操作系统内核,内核代码仅几 K~十几 K。已有 10 年的应用史,并已经被移植到了几乎所有的嵌入式应用类 CPU 上。它的实时性、稳定性已得到世人的公认。由于  $\mu\text{C}/\text{OS}$  的商业价值,后来的  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  不再是免费的,但仍是一个低价位的操作系统。带有文件系统、功能更强的嵌入式操作系统有 uClinux,它的内核需要至少 512 KB 存储空间。面向各种不同的商业硬件平台的、各种版本的 uClinux 的源码在网上都可以找到。我们是从 [www.uclinux.org](http://www.uclinux.org) 上下载 uClinux 源代码的。用 GNU gcc 编译,通过编译运行 uClinux 熟悉了这一套开发环境。uClinux 是一套很优秀的自由软件,很多掌上电脑都是基于 uClinux 开发的,今后 PC 机上有什么软件,掌上电脑(例如以 ARM 为 CPU 的掌上电脑)上就会有有什么软件。这些软件都可以是基于 uClinux 的。uClinux 不是实时的,而自由软件 RTLinux 是实时的。由于上述操作系统都是有源码的,其硬件相关部分可以通过定义一些函数移植上去。有 Linux 的开发环境,有 GNU gcc 的 C 交叉编译器,有操作系统的源代码,就可以自如地设计自己的应用了。

经典的 uClinux 下载地址为 <http://www.uclinux.org>,但对于某些平台(比如 ARM),用 GOOGLE 搜索一下“uClinux+ARM”往往能找到比 [www.uclinux.org](http://www.uclinux.org) 更好的网址。不过 Coldfire 还是推荐用

<http://www.uclinux.org/ports/coldfire/>, 上面的版本是 uClinux 目前最主要的维护者 Greg Ungerer (gerg@snapgear.com) 开发的, 是 uClinux 最原始、最规范版本。

我们用的是:

◇ 内核代码

(<http://www.uclinux.org/ports/coldfire/source.html> 上的 Full Source Distribution)

uClinux-dist-20020306.tar.gz

◇ 交叉编译器

(<http://www.uclinux.org/ports/coldfire/source.html> 上的 M68K/ColdFire Binary Tools (m68k-elf tool chain))

m68k-elf-tools-20020218.tar.gz

## 5 ColdFire 5307 板的开发过程与经验

ColdFire 是 Motorola 在 68K 基础上推出的新的 32 位嵌入式微处理器内核, 有 51XX、52XX、53XX、54XX 等 4 个系列。5307 的运算能力可达 75MIPS。下面描述的开发过程也可以用于 PowerPC、ARM 等嵌入式应用开发。我们以 ColdFire5307 为核心设计了带有 16MB SDRAM、2MB Flash、10 M 以太网接口的硬件平台, 移植了 Debug/Monitor 驻留程序并通过 BDM 接口写入到 Flash 中, 编译了 uClinux 内核并使 uClinux 运行起来。我们移植了实时操作系统  $\mu$ C/OS-II。基于  $\mu$ C/OS-II, 我们正在写基于  $\mu$ C/OS 的 TCP/IP 协议栈。后续的文章中将详细介绍我们的开发过程, 读者按照我们提供的步骤就可以自行开发产品。

以下, 介绍如何搭建能运行 GNU gcc 交叉 C 编译的 Linux 平台。

## 6 搭建 Linux 下开发 ColdFire 的软件平台

### (1) 安装 Linux

首先应该安装 RedHat 6.2 版本的 Linux, 因为 uClinux 的原作者使用的是 RedHat6.2 平台。为了避免可能出现的不必要的麻烦, 建议使用 RedHat6.2 平台。

### (2) GNU gcc 交叉编译器的建立

可以到 <http://www.uclinux.org/port/coldfire> 下面下载最新的 M68K/ColdFire 的交叉编译器。我们使用的是 m68k-elf-tools-20010716.tar.gz, 安装命令是:

```
tar xzf m68k-elf-tools-20010716.tar.gz
```

执行后会把 ColdFire 的交叉编译器安装到 /usr/

local/ 目录下面。其中 /usr/local/bin 目录下是可执行文件。

### (3) 安装调试工具 BDM 的驱动 (BDM Driver)

下载 gdb-bdm-20010901.tar.gz 用下述命令解压:

```
tar xzf gdb-bdm-20010901.tar.gz
```

执行后会新建 gdb-bdm-20010901 目录, 在该目录下面运行:

```
./local_script/build_it
```

然后到 /gdb-bdm-20010901/driver/linux 目录下面运行:

```
make install
```

然后运行:

```
mknod /dev/bdmcf0 c 34 4
```

添加 ColdFire 系列 CPU 的 BDM 驱动。

在文件 /etc/conf.modules 添加:

```
alias char-major-34 bdm
```

在文件 /etc/rc.d/rc.local 添加:

```
/sbin/insmod bdm
```

再到 /gdb-bdm-20010901/lib 下面:

```
make install
```

### (4) 测试 BDM

到 /gdb-bdm-20010901/test 目录下面:

```
./chk /dev/bdmcf0
```

可以测试 BDM 驱动是否工作正常。

### (5) 编译 GDB

下载 gdb 文件 gdb-5.0.tar.gz, 用下述命令解压:

```
tar xzf gdb-5.0.tar.gz
```

到生成的目录 gdb-5.0 下面运行:

```
patch -p1 < /where/gdb-bdm-20010901/gdb-Patches/gdb-5.0-patch
```

where 就是 /gdb-bdm-20010901 的目录。

然后运行

```
./configure --target=m68k-bdm-elf --prefix=/usr/local/
```

再运行

```
make
```

然后是

```
make install
```

这样, 整个 ColdFire 的交叉编译平台和 Debug 平台就建立完成了。接下来就可以编译运行在 ColdFire 系列 CPU 上的汇编 C 程序了。

我们希望, 今后会有更多的朋友加入到用自由软件开发嵌入式应用的行列, 有更多的人把他们的经验拿出来共享。■

# Windows CE 在嵌入式工业控制系统中的应用思考

华北电力大学 吕跃刚 穆新房 徐大平 柳亦兵

**摘要** 随着应用对象的扩大和微电子技术、软件技术的发展,嵌入式系统逐渐从单片机发展到高性能嵌入式微处理器和嵌入式操作系统。本文详细分析 Windows CE 3.0 的实时性、通用性、模块化、Win32 兼容等性能特点。根据工业控制系统对系统平台的一般要求,如实时性、可靠性、图形界面、开发环境和成本等,分析 Windows CE 在工业控制领域的优缺点,并指出 Windows CE 在工业控制中有很好的应用前景。

**关键词** 嵌入式系统 Windows CE 工业控制系统

## 1 嵌入式系统

嵌入式系统(Embedded System)是指有特定功能或用途的计算机硬、软件的集合体,分为嵌入式软件系统和嵌入式硬件系统。在智能控制设备、便携式智能仪器等应用场合,出于对产品体积、成本等诸因素的考虑,往往要求将智能控制部分安装于设备内部,且占用的空间尽可能小,在这种情况下,处理器没有一般意义的硬盘,只有有限容量的内存及常用的 Flash 电子盘,这样的系统称为嵌入式系统。嵌入式系统的操作系统和功能软件集成于计算机硬件系统之中,也就是软件与硬件的一体化。嵌入式系统目的性或针对性很强,具有软件代码小、高度自动化、响应速度快等特点,这也是与通用计算机系统的最主要区别。嵌入式技术与实时性有着必然的联系。

## 2 从单片机的应用发展到嵌入式操作系统

嵌入式系统开始于 20 世纪 80 年代单片机的使用。单片机技术已经渗透到各个领域,且与人们的日常生活密不可分,给人们生活和工业生产带来极大方便。单片机的功能强大,从信号采集、处理到传输都能由单片机来完成。但是,随着网络时代的来临,许多电子设备需要联网和更智能化、更强的计算能力,比如音频、视频的数据采集、处理和传输;丰富的图形界面等。

单片机越来越不能满足应用对象的需求,开发工作也变得越来越复杂、庞大。随着微电子技术的进步,芯片的制造成本大大降低,而功能却大大增强,16 位和 32 位的嵌入式微处理器逐渐成为嵌入式系统设计的主流。但是,只有嵌入式微处理器是不够的,OEM(原始设备制造商)还需要有一个运行于嵌入式微处理器上的操作系统。嵌入式操作系统要有良好的可移植性,能够用在根据应用要求选择的微处理器

中;软件开发工作变得规范,容易测试,可实现模块化编程,同时由多个人共同完成 1 个任务;解决已往开发产品存在的诸多不安全隐患。很多软件厂商迎合嵌入式系统发展的需要,推出了多种不同特点的嵌入式操作系统。例如 Microsoft 公司的 Windows CE、3COM 公司的 Palm OS、Symbian 公司的 EPOC、中科院凯思集团的 HOpen 以及 Linux 等。

## 3 Windows CE 3.0 实时操作系统及其性能分析

### 3.1 Windows CE

Windows CE 操作系统是微软为实现“信息随手可得”的设想而努力开发的成果。通过 Windows CE,微软提供了标准的开放式平台,极大地减少了硬件制造商(IHV)、软件开发商(SHV)以及最终将采纳新一代非 PC 技术解决方案的客户多方之间的矛盾。Windows CE 是一个功能强大的开放的 32 位实时嵌入式操作系统,适用于快速构建新一代内存少、体积小智能设备。例如工业控制器、手持式设备、智能电话、机顶盒和零售点设备等。目前的掌上电脑(PDA)、全球定位系统(GPS)、地理信息系统(GIS)、车载 PC(Auto PC),有很多采用 Windows CE 操作系统。

### 3.2 Windows CE 3.0 性能特点

Windows CE 是一个抢先式多任务并具有强大通信能力的嵌入式操作系统。它是一个全新的、可移植的、实时的、模块化的操作系统,具有流行的微软程序开发界面,提供许多快速开发嵌入式系统的工具。

#### (1) 新内核

Windows CE 看上去和 Windows 9X/NT 很像,但它不是这些操作系统的简化版,也不是从这些系统移植过来的。Windows CE 具有全新的内核和任务



调度、内存管理策略。

(2) 可移植性

由于 Windows CE 操作系统几乎完全是用 C 语言编写的,所以可移植到众多的 32 位微处理器上;支持各种处理器家族,包括 x86、PowerPC、ARM、MIPS 和 SH 等系列。微软为每个支持的处理器家族提供完整的系统库。Windows CE 可以通过 OEM 适配层 OAL(OEM Adaptation Layer)适配到任何硬件平台。OAL 是驻留在 CE 内核和硬件之间的代码层。原始设备制造商使用这些代码把 CE 适配到自己的硬件上。OAL 链接 CE 的内核和定制的硬件。

(3) 实时性

Windows CE 2.1 及其以前的版本实时性能不强,但 Windows CE 3.0 及以后的版本实时性能得到明显改善。Windows CE 3.0 的实时性能主要通过以下技术实现:支持嵌套中断,高优先级的中断并不需要等待低优先级的中断服务例程(ISR)完成;256 个线程优先级,可以灵活调度嵌入式系统的任务;通过固定高优先级中断服务线程(IST)的最大调度延迟改善线程响应时间;使用 API 函数 CeSetThreadQuantum 和 CeGetThreadQuantum 修改操作系统中线程的线程量;中断服务子程序的响应时间非常短;支持信号量。在基于 Windows CE 的参考平台上,使用 Hitachi SH3 微处理器,系统可以在 2~5 μs 内启动一个中断服务例程(ISR),在 90~170 μs 内启动相应的中断服务线程。如果考虑其它因素,如 CPU 类型、时钟频率、总线速度等的影响,许多实际的基于 Windows CE 平台的响应时间更短。

(4) 模块化

由于存储器资源在移动和嵌入式设备中非常有限,Windows CE 设计成一个模块化操作系统,设计者只需选择那些需要的模块以满足指定平台的存储器要求。Windows CE 的结构如图 1 所示,主要包括 4 个模块:内核(Kernel)、图形窗口事件子系统(GWES)、文件系统(Filesys)和通信模块(Communications)。Kernel 负责中断处理、进程和线程管理、虚拟内存管理和其它相关任务;GWES(Graphics Windowing and Events Subsystem)相当于桌面 Windows 的图形设备接口 GDI 和用户库;Filesys 用于永久存储,包括文件系统、注册表和数据库;Communications 模块负责与桌面 PC、其它 CE 设备和因特网的互联。每个模块又分成许多小组件。裁减 Windows CE 时,可以只选择那些需要的组件。

(5) Win32 兼容性

Windows CE 采用与 Windows 95/NT 相同的编程模型,它的 API 是 Win32 API 的一个子集,大约有

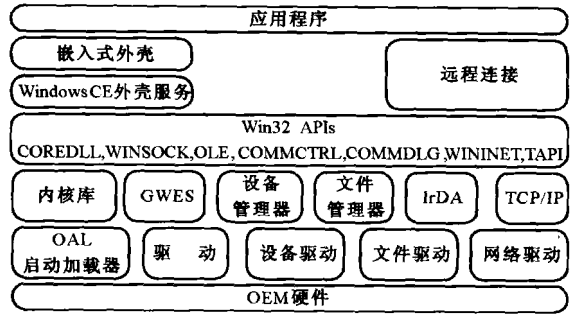


图 1 Windows CE 的基本结构

600 个 API 函数,可以实现所有的嵌入式应用。CE 只支持 UNICODE 码,CE API 删除了 Win32 API 中包含 ANSI 字符串参数的函数。CE 还支持当前流行的软件技术和运行库,如 MFC(Microsoft Foundation Class)、ATL(Active Template Library)、EVC(Embedded Visual C++)、EVB(Embedded Visual Basic)。Win32 的兼容性可以容易地把现成的 Windows 应用程序移植到 Windows CE 中。目前有许多开发人员精通 Windows 编程技术,他们只需学习很少的知识就可以开发 Windows CE 应用程序。

PC 机技术的发展必然出现两极分化:一方面 PC 机功能将进一步加强,达到以前工作站和小型机水平;另一方面,面向普通消费者和特定用途的智能化电子设备将会大量涌现。后者将会普遍采用类似 Windows CE 的嵌入式操作系统。

### 4 Windows CE 在嵌入式控制系统中的应用分析

嵌入式操作系统是一种应用广泛的系统软件,工业控制是它的传统应用领域,在这一领域里已有一些比较成功的嵌入式操作系统。但是,随着应用对象的扩大和技术的进步,实际应用对工业控制系统的功能和性能提出了许多新的要求。例如,适应恶劣的工作环境,熟悉和友好的用户界面,统一的编程界面,强大的通信功能和多媒体功能等,这些嵌入式操作系统很难满足工业应用的新需要。由于 Windows CE 2.1 及以前版本的实时性较差,在工业控制领域应用较少,主要应用在移动式(或便携式)产品和信息家电领域。Windows CE 3.0 的出现极大地改善了它的实时性能,为 Windows CE 进入工业控制领域奠定了基础。

虽然 Windows CE 3.0 作为嵌入式系统平台在工业控制领域还未被广泛采用,但前景非常广阔。许多著名的工业控制器生产商已经开发出基于 Windows CE 3.0 的工业控制产品,如西门子 AG 公司的