

# 单片机与嵌入式系统应用

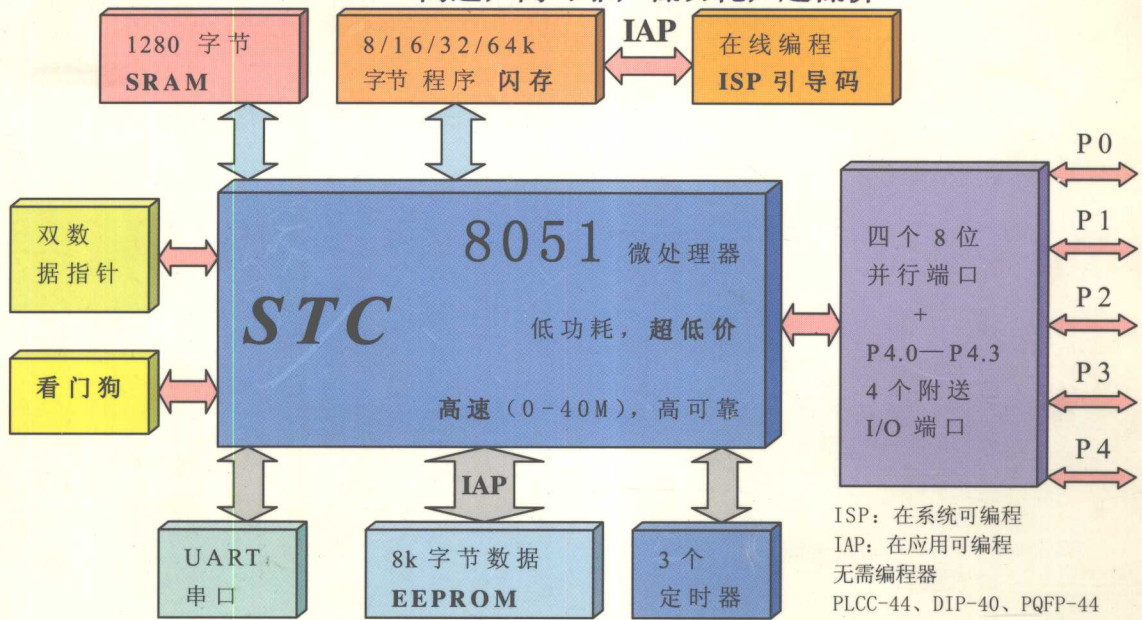
## Microcontrollers & Embedded Systems

http://www.dpj.com.cn mcu@publica.bj.cninfo.net

2004(1-6)

合订本

STC89C58RD+ 系列单片机, 1280 字节 RAM, 在系统可编程  
—— 高速, 高可靠, 低功耗, 超低价



STC89C54RD+ 系列单片机选型一览表

型号	最高时钟频率 Hz		Flash 程序存储器	RAM	串口 UART	中断源	优先级	数据指针	降低 EMI	看门狗	双倍速	P4 口	I S P	I A P	低压复位	E <sup>2</sup> PROM 放数据
	5V	3V														
STC89C51 RD+	0-40M		4K	256+1024	1ch+	6	4	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8K
STC89C52 RD+	0-40M		8K	256+1024	1ch+	6	4	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8K
STC89C54 RD+	0-40M		16K	256+1024	1ch+	6	4	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8K
STC89C55 RD+	0-40M		20K	256+1024	1ch+	6	4	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8K
STC89C58 RD+	0-40M		32K	256+1024	1ch+	6	4	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8K
STC89C516 RD+	0-40M		64K	256+1024	1ch+	6	4	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
STC89LE52 RD+		0-40M	8K	256+1024	1ch+	6	4	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8K
STC89LE54 RD+		0-40M	16K	256+1024	1ch+	6	4	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8K
STC89LE58 RD+		0-40M	32K	256+1024	1ch+	6	4	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	8K
STC89LE516RD+		0-40M	64K	256+1024	1ch+	6	4	2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

# 宏晶科技

专业单片机、存储器供应商

新客户请直接联系深圳以获得更好的技术支持和服务

网址: www.MCU-Memory.com

大客户中心: 13922805190

深圳办: Tel: 0755-82948409 82948410  
 南京办: Tel: 025-86893767 86893566  
 上海办: Tel: 021-53560136 53560138  
 北京办: Tel: 010-62538687  
 广州办: Tel: 020-38851405 38850557  
 东莞办: Tel: 0769-2365875 2349920

Fax: 0755-82944243  
 Fax: 025-86893757  
 Fax: 021-53080587  
 Fax: 010-62538683  
 Fax: 020-38850581  
 Fax: 0769-2365925

※诚聘单片机  
 销售工程师  
 请将资料寄至:  
 深圳市福田区彩田南路  
 彩福大厦嘉福阁 29D  
 邮编: 518000

《单片机与嵌入式系统应用》

合 订 本

(2004 年 1~6 期)

《单片机与嵌入式系统应用》杂志社

— 北京 —

《单片机与嵌入式系统应用》合订本 (2004 年 1~6 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：涿州市新华印刷有限公司  
定 价：45.00 元

---

# 目 录

## 1 业界论坛

(期.页)

- 1.1 嵌入式系统的定义与发展历史 ..... 何立民 (1.3)
- 1.2 试论将  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  用于单片机教学 ..... 邵贝贝 (3.6)
- 1.3 嵌入式 Linux 系统及其应用前景 ..... 王卓包杰 (5.9)
- 1.4 三种常用 SoC 片上总线的分析与比较 ..... 李瑞 张春元 罗莉 (2.13)
- 1.5 浅谈射频识别技术在中国的发展 ..... 程晨 (6.17)

## 2 专题论述

- 2.1 面向对象的嵌入式系统设计方法 ..... 朱成果 于淑玲 (5.23)
- 2.2 一种数模混合 SoC 设计协同仿真的验证方法 ..... 金肖科 凌明 茆邦琴 (1.26)
- 2.3 以 MCS51 为内核构造的单片集成系统 ..... 屈玉峰 王敏 冯根宝 (4.30)
- 2.4 高速单片机硬件关键参数设计概述 ..... 洪鼎标 (4.32)
- 2.5 使用 C++ 构建嵌入式开发框架 ..... 段丙华 (1.36)
- 2.6 智能传感器的蓝牙协议栈与 SoC 结构设计 ..... 方军 骆丽 (6.40)
- 2.7 SoC 系统的低功耗设计 ..... 张天骥 林孝康 余翔 (6.44)
- 2.8 动态时钟配置下的 SoC 低功耗管理 ..... 张拥军 杨军 茆邦琴 胡晨 (4.48)
- 2.9 零翻转编码地址总线 SoC 的低功耗设计 ..... 殷宏 陆生礼 (1.53)
- 2.10 中间件思想在嵌入式 GIS 设计中的应用 ..... 余竹春 岳春生 (2.55)
- 2.11 基于虚拟处理器的嵌入式中间件 ..... 徐会建 杨国纬 沈铮 (3.58)
- 2.12 嵌入式系统中的内存压缩技术 ..... 徐蓉 (2.62)
- 2.13 大容量内存文件系统设计及  $\mu\text{C}/\text{OS}$  下的实现\* ..... 张红兵 魏波 (3.66)

- 2.14 MCU 网络接口方案的自由选择 ..... 陈汝全 (2.69)
- 2.15 嵌入式系统的通信规约管理平台设计 ..... 李洪波 翟金刚 崔建国 (2.72)
- 2.16 基于  $\mu\text{PSD323X}$  的 EPP 增强并口的接口技术 ..... 刘兰生 朱世宁 (6.75)
- 2.17 FPGA 器件的在线配置方法 ..... 王玉花 郭书军 葛勿秋 (3.79)
- 2.18 基于 VHDL 的 I<sup>2</sup>C 总线控制核设计\* ..... 盛磊 徐科军 (5.82)
- 2.19 嵌入式网络设备的 MAC 及 IP 地址设置\* ..... 李廷军 周正欧 (4.86)
- 2.20 无线远程监控系统的核心技术研究\* ..... 郑家莉 黄炜 (6.89)
- 2.21 GPRS 网络应用系统中的协议转换 ..... 吴兵 马宝甫 刘文江 (6.93)
- 2.22 提高汉明码对突发干扰的纠错能力 ..... 赵建武 周航慈 (1.96)
- 2.23 基于 TMS320C54X 的 RS+交织+卷积的级联纠错码 ..... 罗爱国 (3.98)
- 2.24 普适计算中的定位感知系统 ..... 付维权 孙志仁 曹奇英 (2.101)
- 2.25 嵌入式 Java 运行平台数据库引擎的应用研究 ..... 陈金水 (5.104)
- 2.26 嵌入式实时系统中中断管理技术研究\* ..... 雷红卫 桑楠 熊光泽 (5.108)
- 2.27 CODARTS 建模方法在嵌入式软件开发中的应用 ..... 周晓光 张弘强 张伟 (5.112)

## 3 技术纵横

- 3.1 微型抢占式多任务实时内核设计 ..... 郑玉全 (1.117)
- 3.2 MIDP2.0 及其移植技术分析 ..... 曹军 罗蕾 (1.122)
- 3.3 WinCE 系统下 BootLoader 的开发 ..... 白浪 张思东 (2.126)
- 3.4 uClinux 平台下的 Flash 存储技术\* ..... 冯欣 秦娟英 (2.130)
- 3.5  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  实时内核下的 A/D 驱动程序设计 ..... 姚传安 宋寅卯 (3.133)
- 3.6 基于 VxWorks 的 bootrom 代码改进 ..... 孙建恒 孙劲光 (3.136)

\*为网络补充版文章,※为期刊缩略版文章。详细内容请见本刊网站(www.dpj.com.cn)。

- 3.7 嵌入式 Linux 下基于 MiniGUI 的信息终端软件开发 ..... 潘明泉 张侃瑜 (4.139)
- 3.8 基于 LPC2104 的 VxWorks BSP 设计\* ..... 江平新 卢益民 (5.142)
- 3.9 Motorola 微处理器的 bootloader 分析与应用 ..... 朱颖 黄光明 (6.145)
- 3.10 基于 uCLinux 和 S3C4510B 的网络通信设计 ..... 马学文 朱名日 程小辉 (6.148)
- 3.11 基于 DSP 的信道译码算法优化 ..... 闫冬 王建国 (2.152)
- 3.12 用下载电缆实现 AT89S5X 的 ISP 编程 ..... 赵昕 李维祥 孙桂玲 (2.155)
- 3.13 地址重映射在 S3C4510B 系统中的实现 ..... 曹伟 钟石磊 孙克怡 程凯 (3.159)
- 3.14 MCS-51 系统中中断优先级的软扩展 ..... 钟建坡 司光宇 (4.162)
- 3.15 IC 卡数据循环存储及文件管理 ..... 任晓奎 杨顺 (5.167)
- 3.16 基于虚拟扇区的 Flash 存储管理技术 ..... 付助荣 王建华 (6.169)
- 3.17 基于 RISC 技术的 8 位微控制器设计\* ..... 莫乾坤 徐元欣 程方 (5.172)
- 3.18 异步串行通信接口的 IP 核设计 ..... 严伟 林学龙 马新元  
曹以龙 杨松华 龚幼民 (1.175)
- 3.19 NRZ-HDB3 码转换器的高速长距离通信 ..... 苗睿锋 (1.178)
- 3.20 嵌入式短程无线通信系统硬件设计 ..... 梅大成 郑兴桥 (6.182)
- 3.21 会议芯片 M34116 及其在专网通信中的应用 ..... 卢炜 周学义 (5.185)
- 3.22 网络通信处理器 S3C4510B 的网口驱动设计\* ..... 庞继勇 李维英 王竞 (4.190)
- 3.23 基于 CPLD 的高压电力线 FSK MODEM 设计 ..... 欧磊 张红雨 (1.194)
- 3.24 用于非接触式 IC 卡的高频接口模块设计 ..... 李海华 王豪才 (3.197)
- 3.25 用 TMS320C54X 实现 Vertibi 译码器 ..... 吴莉莉 刘益成 (4.199)
- 3.26 嵌入式系统中 FPGA 的被动串行配置方式 ..... 胡修林 席向涛 张蕴玉 (3.203)
- 3.27 单片机休眠-复位运行方式提高抗干扰能力 ..... 李临生 魏德华 柳旭英 (2.206)
- 4.2 系统芯片 nRF24E1 及其在无绳电话中的应用 ..... 郑启忠 朱宏辉 耿四军 (6.215)
- 4.3 基于 IP 设计的 8 位 SoC 微处理器 ET44M210 ..... 朱仁龙 赵俊逸 黄勇 (6.218)
- 4.4 基于 MIPS 架构的 RISC 微处理器 RM7000A\* ..... 李杰 贺占庄 (2.221)
- 4.5 基于 ARM 核的 Intel XScale 嵌入式系统 ..... 杨波 (3.225)
- 4.6 现场可配置片上系统 TA7V05 的应用研究 ..... 黄先进 (4.228)
- 4.7 采用 Nios 定制指令的嵌入式系统优化设计 ..... 李娟 张宇 (1.233)
- 4.8 MSP430 与液晶显示器的串行接口方案 ..... 宋奇兵 李毅 (2.237)
- 4.9 基于嵌入式 PSoc 的 MCU 选色控制器设计 ..... 郭帅 何永义 (3.240)
- 4.10 TLC320AD545 编解码器与 C54x DSP 接口设计 ..... 朱正平 (3.245)
- 4.11 ARM 微控制器 LPC210X 的 LCD 接口技术 ..... 程海林 刘百芬 汪利宝 (4.248)
- 4.12 基于 Nios 软核的嵌入式 Internet 系统设计 ..... 黄忠涛 陈利学 (4.251)
- 4.13 SLE4418/SLE4428 IC 卡及其应用\* ..... 彭光红 (5.253)
- 4.14 基于 MSP53C392 的语音合成系统 ..... 陈洁 (5.257)
- 4.15 MultiMediaCard 及其与单片机接口\* ..... 孙方 颜国正 王文兴 (6.259)
- 4.16 蓝牙无线电调制解调器 SiW1701 原理与应用 ..... 华欣 黄智伟 (1.263)
- 4.17 2.4GHz DSSS 收发器芯片组 RFW302 原理与应用 ..... 黄智伟 唐冬 王彦 (2.266)
- 4.18 彩色液晶显示器在嵌入式系统中的应用\* ..... 李敏 孟臣 (2.270)
- 4.19 用 FPGA 实现 1553B 总线接口中的曼码编解码器 ..... 石红梅 姬劳 谢检勤 (4.273)
- 4.20 嵌入式系统以太网卡控制器 LAN91C96 ..... 张泉 王永生 (5.278)
- 4.21 PDF417 二维条码在嵌入式设备中的应用\* ..... 蒋进 梅海军 王平 (4.282)
- 4.22 嵌入式 Modem 在配变终端单元中的应用 ..... 陈志英 李光辉 (5.286)
- 4.23 信息纽扣 DS1991 在单片机系统中的应用 ..... 赵嘉蔚 (6.289)
- 4.24 Armboot 在 EV40 评估板上的移植 ..... 赵劲 陈朔鹰 马忠梅 (1.293)

#### 4 新器件新技术

- 4.1 51 内核 8 位单片机 MAX7651 的开发环境 ..... 范立青 (1.213)

- 4.25 DS2438 及其在单总线微网中的应用 .....  
..... 李敏 孟臣 (1.296)
- 4.26 AMBE-1000 在语音压缩中的应用 .....  
..... 林水明 章坚武 (3.300)
- 4.27 利用 F206 片内 Flash 进行在线编程 .....  
..... 吕泽承 杨柳林 (3.303)
- 4.28 使用自适应跳频提高蓝牙与 802.11 的共存性  
..... 杨阳 徐润 张继棠 (4.306)

## 5 应用天地

- 5.1 基于 ATmega128L 的大容量 MP3 播放机 ...  
..... 孙素丽 薄勇 杨公训 (1.311)
- 5.2 基于 TMS320C6711 的线阵 CCD 采集与处理  
系统..... 向勇阳 李政 吕未江 (1.314)
- 5.3 基于 AT89818 的 10M/100M 以太网交换机设计  
..... 周世琼 向勇阳 (3.318)
- 5.4 MC68VZ328 的智能家庭网关的解决方案\* ...  
..... 薛宏全 廖建明 (4.321)
- 5.5 MPC8250 处理器及其在宽带接入中的应用 ...  
..... 孙岩 高文昌 (4.324)
- 5.6 基于 C8051F021 的定位和报警移动终端设计  
..... 魏永红 (4.327)
- 5.7 用 PIC 单片机实现的 IC 卡读写器 .....  
..... 姜小涛 夏志忠 (5.330)
- 5.8 基于 PIC 的无线数据传输发射机设计 .....  
..... 闫冬 何遵义 (5.334)
- 5.9 用 AT91R40008 设计高动态 GPS 接收机.....  
..... 施久亮 (6.336)
- 5.10 用 P89C664 实现 I<sup>2</sup>C 总线大批量数据的自动  
存储\* ..... 徐东 (6.339)
- 5.11 闪存芯片 KM29N32000TS 在单片机系统中  
的应用 ..... 李志刚 (6.342)
- 5.12 TMS320F240 的 IDE 接口仿真器设计 .....  
..... 姜运生 (1.345)
- 5.13 单片机型 FM 有线/无线遥控广播系统\* ...  
..... 杨盛国 (5.349)
- 5.14 基于 E5122 的家庭网络控制系统 .....  
..... 徐淑萍 王鹏 (6.352)
- 5.15 IC 卡接口芯片 TDA8007 的读写器设计 .....  
..... 罗勇进 路林吉 (1.355)
- 5.16 利用 Flash 实现 DSP 对多个程序有选择的  
加载 ... 陈朝阳 薛峥 郭胜江 (2.359)
- 5.17 闪速存储器 K9F1208U0M 在图像采集系统中  
的应用 ..... 刘智 薛旭成 (2.362)
- 5.18 基于 PCF8563 户外型倒计时系统的设计 ...  
..... 龙世瑜 林汉 陈新源 (2.367)

- 5.19 基于 FPGA 的新型谐波分析仪设计 .....  
..... 刘隽 唐雄民 彭永进 (3.371)
- 5.20 CAN 总线的嵌入式 Web 服务器设计 .....  
..... 周琦 黄天成 (3.376)
- 5.21 基于 Rhapsody 和 VxWorks 的自动取款机  
系统 ... 倪红军 赵绍刚 朱美强 (1.380)
- 5.22 uClinux 下动态 Web 技术的实现方法\* .....  
..... 刘国梅 郑安平 (2.385)
- 5.23 基于 Small RTOS51 的数据采集器设计\* ...  
..... 金永生 范明凤 (5.388)
- 5.24 基于精简 TCP/IP 协议栈的信息家电网络服  
务器 ..... 陈武 雷航 (6.390)
- 5.25 防数据碰撞的无线呼叫系统设计 .....  
..... 段锐 王素才 (2.394)
- 5.26 变电站自动化控制的蓝牙解决方案 .....  
..... 胡江 赵谦 (3.399)
- 5.27 激光治疗仪中的触摸屏接口设计 .....  
..... 周长勇 张晓冬 (4.401)
- 5.28 具有 USB2.0 接口的高速数据采集卡设计 ...  
..... 杨波 刘延波 (4.404)
- 5.29 数字签名技术在手持式设备上的应用\* .....  
..... 蒋进 梅海军 王平 (3.409)

## 6 经验交流

- 6.1 实现基于 51 单片机的 UDP 收发工具 .....  
..... 朱国魂 田振丽 (1.415)
- 6.2 C51 的结构体数据在单片机编程中的应用 ...  
..... 贡书文 张志 李福凯 (2.417)
- 6.3 C8051F020 中 Flash 存储器的在线擦写方法  
..... 韩红芳 孙守昌 (3.418)
- 6.4 基于 C8051F023 的软件注入技术\* .....  
..... 李琳 金伟信 (4.420)
- 6.5 RTX51 Tiny 中容易混淆的问题 .....  
..... 邵子扬 (5.422)
- 6.6 TMS320LF2407 芯片的串行引导加载方案 ...  
..... 谭思云 徐桃云 向敏 (6.424)
- 6.7 X5045 在单片机系统中的应用技巧\* .....  
..... 周正千 严斌 安振刚 (1.426)
- 6.8 CRC-8 高效简练的单片机实现方法\* .....  
..... 陈松岭 (2.428)
- 6.9 嵌入式系统的网上在线更新程序 .....  
..... 庞志 (2.430)
- 6.10 VxWorks 任务编程中常见异常分析 .....  
..... 宋华伟 彭建华 季新生 (1.432)
- 6.11 借鉴 MISRA 规范减少 C 语言程序隐患 .....  
..... 陈文刚 (3.434)



- 6.12 Flash 单片机自编程技术的探讨 ..... 刘宏志 谢利理 (3.436)
- 6.13 uClinux 下 JFFS2 文件系统的实现 ..... 黄布毅 郑安平 陈晓雷 刘国梅 (5.438)
- 6.14  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  任务栈处理的改进设计 ..... 杨少军 李杭生 (5.440)
- 6.15 ARM 程序设计优化策略与技术 ..... 刘侃 张永泰 刘洛琨 (4.442)
- 6.16 TEA 加解密算法在嵌入式系统通信中的应用 ..... 史斌宁 刘昊钰 (4.445)
- 6.17 基于 S3C4510B 的嵌入式系统调试技术 ..... 马学文 朱名日 (5.447)
- 6.18 C 代码在 TMS320C54X 上的手工汇编优化 ..... 钱俊 王芙蓉 (5.449)
- 6.19 嵌入式操作系统应用中的看门狗技术 ..... 曹敏焯 (5.452)
- 6.20 PIC 单片机查表指令安全性分析初探 ..... 李荣正 (6.453)
- 6.21 I<sup>2</sup>C 总线的虚拟仿真软件工具\* ..... 胡师勇 (6.456)
- 6.22 用 PIC18F458 的 CAN 模块实现 CAN 总线通信 ..... 周有为 刘和平 (6.458)
- 6.23 为 Qt/Embedded 添加触摸屏驱动\* ..... 唐威 (2.461)
- 6.24 单片机多机串行通信的改进方案 ..... 陈寿元 (5.462)
- 6.25 双单片机系统的三线数据通信 ..... 郑力新 周凯汀 (2.464)
- 6.26 AVR 单片机 SPI 通信的一种抗干扰方法 ..... 郝立中 (2.465)
- 6.27 用 DSP 的加强型同步串行口构建 L3 总线 ..... 袁春旭 高飞 (4.468)
- 6.28 RS-485 收发的零延时转换电路 ..... 张庆强 刘兵 (2.470)
- 6.29 单片机键盘电路的优化 ..... 靳梳 郇芝权 肖波 (5.471)
- 6.30 PC 机键盘防抖动技术在嵌入式系统中的移植 ..... 李文炜 肖善福 (3.472)
- 6.31 轻触式开关电路在 AVR 单片机中的应用 ..... 王伯岭 (4.474)
- 6.32 用光电编码器实现单键飞梭功能 ..... 杜荣茂 (4.476)
- 6.33 用多周期综合方法实现的单片机信号发生器 ..... 黄金平 (3.478)

## 7 学习园地

- 7.1  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  任务调度机制的改进\* ..... 陈强 王建华 (1.483)
- 7.2 uClinux 下的 DS1284 设备驱动程序开发\* ..... 程臻 邱华盛 翊智 (3.485)
- 7.3 嵌入式 Linux 系统下 NOR Flash 的配置和使用 ..... 周斌 林喜荣 黄析伟 (2.489)
- 7.4 TEXTIO 及其在 VHDL 仿真中的应用\* ..... 于红旗 仲涛 (4.492)
- 7.5 VxWorks 在 AT91FR40162 上的 BSP 定制\* ..... 王慧 吴旭光 马昕 万伟安 (5.495)
- 7.6 TMS320C32 系统的 BOOTLOADER 设计 ..... 朱昱新 邓启辉 黄涛 卢路先 (6.500)

## 8 产业技术与信息

- 8.1 RTOS 的必备特性 ..... 韩青 (2.507)
- 8.2 上电次序控制和上电跟踪控制的实现 ..... 金国锋 (3.508)
- 8.3 即将来临的 32 位浪潮——ARM 构架在 32 位微控制器领域的应用 ..... Jack Shandle (3.510)
- 8.4 基于 AVR 单片机的现场可编程系统级集成电路 ..... (5.512)
- 8.5 一种基于 SHARP7A400 的嵌入式硬件解决方案 ..... 谭勇 (4.514)
- 8.6 MSP430FW427 在热表中的应用 ..... 周连廷 (6.518)
- 8.7 Sildex——实时系统可视化开发工具 ..... 王鹏 张冬玲 (6.521)
- 8.8 利用电场感应器件 MC33794 测定液体高度 ..... (1.523)
- 8.9 DirectDrive 立体声耳机放大器 ..... (5.525)
- 8.10 家中、掌上,您都能享受无线数字娱乐的乐趣 ..... (6.528)

# 1 业界论坛





# 嵌入式系统的定义与发展历史

北京航空航天大学 何昱民

**摘要** 嵌入式系统诞生于微型机时代,经历了漫长的独立发展的单片机道路。给嵌入式系统寻求科学的定义,必须了解嵌入式系统的发展历史,按照历史性、本质性、普遍通用性来定义嵌入式系统,并把定义与特点相区分。由于嵌入式系统应用中,对象系统的广泛性与单片机的独立发展道路,使嵌入式系统应用在客观上存在两种模式,从学科建设上,可统一成嵌入式系统应用的高低端。

**关键词** 嵌入式系统发展史 嵌入式系统定义 应用模式 高低端应用

目前,在嵌入式系统应用领域中,不少人对什么是嵌入式系统不甚了解。有些人搞了十多年的单片机应用,不知道单片机就是一个最典型的嵌入式系统;也有些人在解释什么是嵌入式系统时,不是从定义出发,而是列举了嵌入式系统的一些特点,往往不知所云。因此,有必要从现代计算的发展历史,了解嵌入式系统的由来,从学科建设的角度来探讨嵌入式系统较为准确的定义。

## 1 现代计算机的技术发展史

### (1) 始于微型机时代的嵌入式应用

电子数字计算机诞生于1946年,在其后漫长的历史进程中,计算机始终是供养在特殊的机房中,实现数值计算的大型昂贵设备。直到20世纪70年代,微处理器的出现,计算机才出现了历史性的变化。以微处理器为核心的微型计算机以其小型、价廉、高可靠性特点,迅速走出机房;基于高速数值解算能力的微型机,表现出的智能化水平引起了控制专业人士的兴趣,要求将微型机嵌入到一个对象体系中,实现对象体系的智能化控制。例如,将微型计算机经电气加固、机械加固,并配置各种外围接口电路,安装到大型舰船中构成自动驾驶仪或轮机状态监测系统。这样一来,计算机便失去了原来的形态与通用的计算机功能。为了区别于原有的通用计算机系统,把嵌入到对象体系中,实现对象体系智能化控制的计算机,称作嵌入式计算机系统。因此,嵌入式系统诞生于微型机时代,嵌入式系统的嵌入性本质是将一个计算机嵌入到一个对象体系中去,这些是理解嵌入式系统的基本出发点。

### (2) 现代计算机技术的两大分支

由于嵌入式计算机系统要嵌入到对象体系中,实现的是对象的智能化控制,因此,它有着与通用计算机系统完全不同的技术要求与技术发展方向。

通用计算机系统的技术要求是高速、海量的数值

计算;技术发展方向是总线速度的无限提升,存储容量的无限扩大。而嵌入式计算机系统的技术要求则是对象的智能化控制能力;技术发展方向是与对象系统密切相关的嵌入性能、控制能力与控制的可靠性。

早期,人们勉为其难地将通用计算机系统进行了改装,在大型设备中实现嵌入式应用。然而,对于众多的对象系统(如家用电器、仪器仪表、工控单元……),无法嵌入通用计算机系统,况且嵌入式系统与通用计算机系统的技术发展方向完全不同,因此,必须独立地发展通用计算机系统与嵌入式计算机系统,这就形成了现代计算机技术发展的两大分支。

如果说微型机的出现,使计算机进入到现代计算机发展阶段,那么嵌入式计算机系统的诞生,则标志了计算机进入了通用计算机系统与嵌入式计算机系统两大分支并行发展时代,从而导致20世纪末,计算机的高速发展时期。

### (3) 两大分支发展的里程碑事件

通用计算机系统与嵌入式计算机系统的专业化分工发展,导致20世纪末、21世纪初,计算机技术的飞速发展。计算机专业领域集中精力发展通用计算机系统的软、硬件技术,不必兼顾嵌入式应用要求,通用微处理器迅速从286、386、486到奔腾系列;操作系统则迅速扩张计算机基于高速海量的数据文件处理能力,使通用计算机系统进入到尽善尽美阶段。

嵌入式计算机系统则走上了一条完全不同的道路,这条独立发展的道路就是单芯片化道路。它动员了原有的传统电子系统领域的厂家与专业人士,接起起源于计算机领域的嵌入式系统,承担起发展与普及嵌入式系统的历史任务,迅速地将传统的电子系统发展到智能化的现代电子系统时代。

因此,现代计算机技术发展的两大分支的里程碑意义在于:它不仅形成了计算机发展的专业化分工,而且将发展计算机技术的任务扩展到传统的电子系统领域,使计算机成为进入人类社会全面智能化时代

的有力工具。

## 2 嵌入式系统的定义与特点

如果我们了解了嵌入式(计算机)系统的由来与发展,对嵌入式系统就不会产生过多的误解,而能历史地、本质地、普遍适用地定义嵌入式系统。

### (1) 嵌入式系统的定义

按照历史性、本质性、普遍性要求,嵌入式系统定义为:“嵌入到对象体系中的专用计算机系统”。“嵌入性”、“专用性”与“计算机系统”是嵌入式系统的三个基本要素。对象系统则是指嵌入式系统所嵌入的宿主系统。

### (2) 嵌入式系统的特点

嵌入式系统的特点与定义不同,它是由定义中的三个基本要素衍生出来的。不同的嵌入式系统其特点会有所差异。

与“嵌入性”的相关特点:由于是嵌入到对象系统中,必须满足对象系统的环境要求,如物理环境(小型)、电气/气氛环境(可靠)、成本(价廉)等要求。

与“专用性”的相关特点:软、硬件的裁剪性;满足对象要求的最小软、硬件配置等。

与“计算机系统”的相关特点:嵌入式系统必须是能满足对象系统控制要求的计算机系统。与上两个特点相呼应,这样的计算机必须配置有与对象系统相适应的接口电路。

另外,在理解嵌入式系统定义时,不要与嵌入式设备相混淆。嵌入式设备是指内部有嵌入式系统的产品、设备,例如,内含单片机的家用电器、仪器仪表、工控单元、机器人、手机、PDA等。

### (3) 嵌入式系统的种类与发展

按照上述嵌入式系统的定义,只要满足定义中三要素的计算机系统,都可称为嵌入式系统。嵌入式系统按形态可分为设备级(工控机)、板级(单板、模块)、芯片级(MCU、SoC)。

有些人把嵌入式处理器当作嵌入式系统,但由于嵌入式系统是一个嵌入式计算机系统,因此,只有将嵌入式处理器构成一个计算机系统,并作为嵌入式应用时,这样的计算机系统才可称作嵌入式系统。

嵌入式系统与对象系统密切相关,其主要技术发展方向是满足嵌入式应用要求,不断扩展对象系统要求的外围电路(如ADC、DAC、PWM、日历时钟、电源监测、程序运行监测电路等),形成满足对象系统要求的应用系统。因此,嵌入式系统作为一个专用计算机系统,要不断向计算机应用系统发展。因此,可以把定义中的专用计算机系统引伸成,满足对象系统要求

的计算机应用系统。

## 3 嵌入式系统的独立发展道路

### (1) 单片机开创了嵌入式系统独立发展道路

嵌入式系统虽然起源于微型计算机时代,然而,微型计算机的体积、价位、可靠性都无法满足广大对象系统的嵌入式应用要求,因此,嵌入式系统必须走独立发展道路。这条道路就是芯片化道路。将计算机做在一个芯片上,从而开创了嵌入式系统独立发展的单片机时代。

在探索单片机的发展道路时,有过两种模式,即“ $\Sigma$ 模式”与“创新模式”。“ $\Sigma$ 模式”本质上是通用计算机直接芯片化的模式,它将通用计算机系统的基本单元进行裁剪后,集成在一个芯片上,构成单片微型计算机;“创新模式”则完全按嵌入式应用要求设计全新的,满足嵌入式应用要求的体系结构、微处理器、指令系统、总线方式、管理模式等。Intel公司的MCS-48、MCS-51就是按照创新模式发展起来的单片形态的嵌入式系统(单片微型计算机)。MCS-51是在MCS-48探索基础上,进行全面完善的嵌入式系统。历史证明,“创新模式”是嵌入式系统独立发展的正确道路,MCS-51的体系结构也因此成为单片嵌入式系统的典型结构体系。

### (2) 单片机的技术发展史

单片机诞生于20世纪70年代末,经历了SCM、MCU、SoC三大阶段。

SCM即单片微型计算机(Single Chip Micro-computer)阶段,主要是寻求最佳的单片形态嵌入式系统的最佳体系结构。“创新模式”获得成功,奠定了SCM与通用计算机完全不同的发展道路。在开创嵌入式系统独立发展道路上,Intel公司功不可没。

MCU即微控制器(Micro Controller Unit)阶段,主要的技术发展方向是:不断扩展满足嵌入式应用时,对象系统要求的各种外围电路与接口电路,突显其对象的智能化控制能力。它所涉及的领域都与对象系统相关,因此,发展MCU的重任不可避免地落在电气、电子技术厂家。从这一角度来看,Intel逐渐淡出MCU的发展也有其客观因素。在发展MCU方面,最著名的厂家当数Philips公司。Philips公司以其在嵌入式应用方面的巨大优势,将MCS-51从单片微型计算机迅速发展到了微控制器。因此,当我们回顾嵌入式系统发展道路时,不要忘记Intel和Philips的历史功绩。

单片机是嵌入式系统的独立发展之路,向MCU阶段发展的重要因素,就是寻求应用系统在芯片上的

最大化解决;因此,专用单片机的发展自然形成了 SoC 化趋势。随着微电子技术、IC 设计、EDA 工具的发展,基于 SoC 的单片机应用系统设计会有较大的发展。因此,对单片机的理解可以从单片微型计算机、单片微控制器延伸到单片应用系统。

#### 4 嵌入式系统的两种应用模式

嵌入式系统的嵌入式应用特点,决定了它的多学科交叉特点。作为计算机的内含,要求计算机领域人员介入其体系结构、软件技术、工程应用方面的研究。然而,了解对象系统的控制要求,实现系统控制模式必须具备对象领域的专业知识。因此,从嵌入式系统发展的历史过程,以及嵌入式应用的多样性中,可以了解到客观上形成的两种应用模式。

##### (1) 客观存在的两种应用模式

嵌入式计算机系统起源于微型机时代,但很快就进入到独立发展的单片机时代。在单片机时代,嵌入式系统以器件形态迅速进入到传统电子技术领域中,以电子技术应用工程师为主体,实现传统电子系统的智能化,而计算机专业队伍并没有真正进入单片机应用领域。因此,电子技术应用工程师以自己习惯性的电子技术应用模式,从事单片机的应用开发。这种应用模式最重要的特点是:软、硬件的底层性和随意性;对象系统专业技术的密切相关性;缺少计算机工程设计方法。

虽然在单片机时代,计算机专业淡出了嵌入式系统领域,但随着后 PC 时代的到来,网络、通信技术得以发展;同时,嵌入式系统软、硬件技术有了很大的提升,为计算机专业人士介入嵌入式系统应用开辟了广阔天地。计算机专业人士的介入,形成的计算机应用模式带有明显的计算机的工程应用特点,即基于嵌入式系统软、硬件平台,以网络、通信为主的非嵌入式底层应用。

##### (2) 两种应用模式的并存与互补

由于嵌入式系统最大、最广、最底层的应用是传

统电子技术领域的智能化改造,因此,以通晓对象专业的电子技术队伍为主,用最少的嵌入式系统软、硬件开销,以 8 位机为主,带有浓重的电子系统设计色彩的电子系统应用模式会长期存在下去。另外,计算机专业人士会愈来愈多地介入嵌入式系统应用,但囿于对象专业知识的隔阂,其应用领域会集中在网络、通信、多媒体、商务电子等方面,不可能替代原来电子工程师在控制、仪器仪表、机械电子等方面的嵌入式应用。因此,客观存在的两种应用模式会长期并存下去,在不同的领域中相互补充。电子系统设计模式应从计算机应用设计模式中,学习计算机工程方法和嵌入式系统软件技术;计算机应用设计模式应从电子系统设计模式中,了解嵌入式系统应用的电路系统特性、基本的外围电路设计方法和对象系统的基本要求等。

##### (3) 嵌入式系统应用的高低端

由于嵌入式系统有过很长的一段单片机的独立发展道路,大多是基于 8 位单片机,实现最底层的嵌入式系统应用,带有明显的电子系统设计模式特点。大多数从事单片机应用开发人员,都是对象系统领域中的电子系统工程师,加之单片机的出现,立即脱离了计算机专业领域,以“智能化”器件身份进入电子系统领域,没有带入“嵌入式系统”概念。因此,不少从事单片机应用的人,不了解单片机与嵌入式系统的关系,在谈到“嵌入式系统”领域时,往往理解成计算机专业领域的,基于 32 位嵌入式处理器,从事网络、通信、多媒体等的应用。这样,“单片机”与“嵌入式系统”形成了嵌入式系统中常见的两个独立的名词。但由于“单片机”是典型的、独立发展起来的嵌入式系统,从学科建设的角度出发,应该把它统一成“嵌入式系统”。考虑到原来单片机的电子系统底层应用特点,可以把嵌入式系统应用分成高端与低端,把原来的单片机应用理解成嵌入式系统的低端应用,含义为它的底层性以及对象系统的紧耦合。■

# 试论将 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 用于单片机教学

清华大学 郇贝贝

**摘要** 当前,大学中的“嵌入式系统与单片机应用”及类似课程的教学内容和实验正处在转型期,由单纯8位机转向8位、16位、32位并举;开发方式上,仿真器在逐步退出;嵌入式实时操作系统被引入教学。本文就相关课程内容与实验平台方案的设计提出一些看法,以引起同行的思考与讨论。

**关键词** 单片机 嵌入式 RTOS  $\mu\text{C}/\text{OS}$  教学 培训

在2003年天津举行的“全国单片机及嵌入式系统学术年会”上,来自全国各地几十所大学的教师对单片机与嵌入式系统教学展开了热烈的讨论。这里,就我们的认识介绍如下,以达到抛砖引玉的目的。

## 1 单片机与嵌入式系统应用类课程的转型期

当前,单片机与嵌入式系统应用类课程正处在转型期。过去的20年中,单片机市场与需求都是以8位机为主的。最近几年来,16位、32位单片机的嵌入式应用呈迅速增长的趋势。在一两年后,数量上虽然仍会以8位为多,但32位单片机在产值上会超过8位单片机,如图1、图2所示。今后,单片机应用将呈现8位、16位、32位单片机并举的格局。

要的是把计算机专家们研究的成果直接拿来使用。RTOS可以将一个复杂的应用分解成多个任务,从而简化应用程序的设计;RTOS可以保证系统的实时性达到或接近理论上可以达到的最好水平。而多任务本身会带来一系列的问题,主要是任务间的竞争、死锁、优先级反转、任务间同步与通信等。这些问题有RTOS为用户考虑,只要知道RTOS的原理,会使用就可以了。故单片机教学的这次转型,引入RTOS概念是一大特点。

## 2 单片机教学史的回顾与思考

回忆过去我国单片机教学走过的路,大多数院校都是从8051走过来的。故8051在国内普及单片机

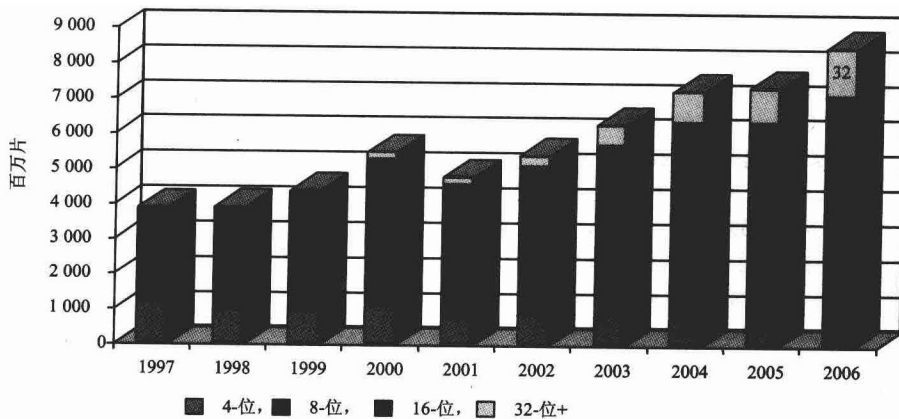


图1 Semico对MCU用量的统计与预测

由于单片机系统的需求越来越复杂、集成电路技术发展又非常快,片上存储器容量不断扩大,使得在片上系统的开发中,使用嵌入式实时操作系统(RTOS)成为可能。计算机对于90%以上的学生都不能是他的专业,而只是一种工具。同各行各业开发单片机应用的工程师一样,非计算机专业的学生来自各个领域,他们不可能将主要精力花在研究操作系统上,而是要把主要精力放在所研究的专业上,他们需

应用方面功不可没。而总结一下由8051教学模式带来的副作用,将有利于目前的转型。

一个副作用是,教学中以一片8051配以不同的外围电路去适应各种不同的应用。这就忽略了单片机应用的多样性和单片机应用的个性化定位。单片机姓“单”,世界上的单片机至少有上千种,每种单片机都有各自的定位。我们强调的是SoC,即片上系统,只有将整个系统都集成在一个集成电路芯片上,

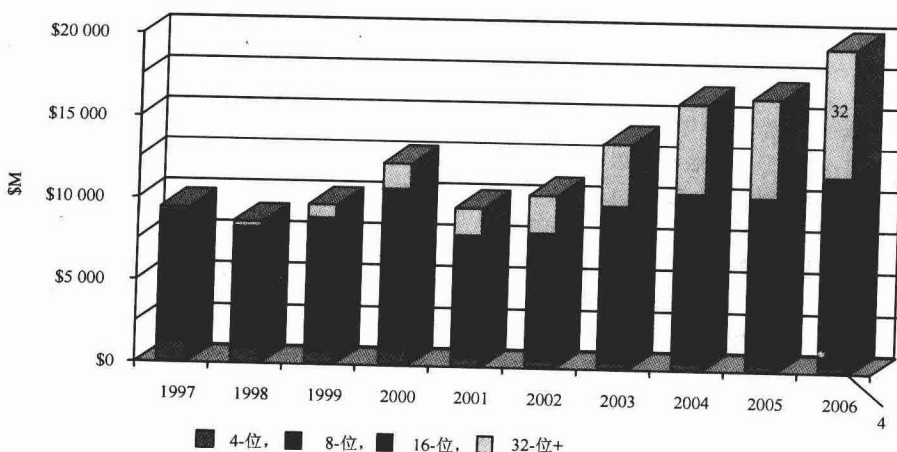


图2 对MCU产值的统计与预测

才能做到低成本、高可靠性。只有在不得已的情况下，才扩充额外的接口芯片。故应告诉学生，虽然学的是某种单片机，但针对不同的应用要选择最适宜的单片机。单片机教学要求教师教会学生一种方法，会用这种单片机，自然也会用其它单片机。

过去 8051 教学引入的另一误区是使用仿真器。如果说过去开发掩膜型单片机使用仿真器属不得已，则如今单片机都采用了可以反复擦写十万次以上的 Flash 存储器，实在没有必要使用仿真器。本人在过去 20 年的单片机应用开发中，就从来没有用过仿真器，并非没有仿真器可用，只是不主张使用仿真器，特别不主张使用仿真器教学。仿真器使单片机开发变得不直观，高价的仿真器增加了开发成本，也增加了教学的负担。开发者不可能为每一类单片机买一种仿真器，只好以自己有的仿真器的那种单片机去适应所有的应用，从而误入歧途。

### 3 是教学还是培训

我们这里讲的是教学，不是培训，教学不同于培训。俗话说，“授之以鱼不如授之以渔”。教学是“授之以渔”，授之以解决问题的方法，培养解决问题的能力，是引导学生入门。通过授课与实验，要求学生能做到三个看懂，看懂原文手册、看懂硬件原理图、看懂别人写的程序。在此基础上学会如何掌握一种自己不熟悉的单片机。我们讲 CPU 硬件结构，讲汇编指令集，教学生如何初始化串行口，从而实现与单片机的 CPU“对话”，进而学会写监控程序，然后将如何与 C 语言接口，以  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  为例，讲 RTOS 基本概念，进而移植  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 。

培训的目的是让用户尽快上手，一周乃至三天后就可以开始写应用程序。培训是“授之以鱼”，培训的

典型例子是教学生如何使用某单片机的仿真器。

教学，强调的是引导学生入门，只要我们能正确地引导学生入门，告诉他们什么是正确的方法，后面的路他们会自己走。

### 4 将 $\mu\text{C}/\text{OC}$ 用于 RTOS 教学

1995 年以后，我们逐渐将  $\mu\text{C}/\text{OS}$ 、 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  引进单片机应用的科研与教学，证明是成功的。 $\mu\text{C}/\text{OS}$ 、 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  是专门为嵌入式应用设计的实时内核，适用于几乎所有 8 位、16 位、32 位单片机；90% 以上与硬件无关的代码用 C 语言写成，用汇编语言写的与硬件相关的代码不足 200 行；有 PC 机上可运行的范例；有针对数十种知名 CPU 的移植范例可直接从网上下载；有注解清晰、书写规范的全部源代码。有一部 600 页的书对 RTOS 基本概念、内核原理做了详尽的描述，随书所附光盘上的  $\mu\text{C}/\text{OS-II V2.52}$  通过了美国航空航天管理局的安全认证，可用在与人命攸关的控制系统中，是一部科学、实用的好教材。该内核的前身是  $\mu\text{C}/\text{OS}$ ，最早的版本是为 Motorola 增强型 8 位单片机 68HC11 CPU 写的。68HC11 曾经是世界上产量排名第三的（第一是 68HC05，第二是 8051）著名单片机 CPU。1995 年前后，我们曾以 68HC11 作为单片机应用的教材，并出过一本《MC68HC11 单片机开发技术》的教材，清华大学出版社出版。目前，68HC11 逐渐被与之指令集在源码级兼容的 CPU12 替代，故我们的研究生教学也将顺势转向采用 16 位的 CPU12 单片机。

我不主张将嵌入式 Linux、 $\mu\text{Clinux}$  等用于教学。它缺乏适当的定位，虽然有源码，但并没有一本适于做教材的书籍，对于非计算机专业的学生来说太难了，也没有必要花那么多的时间去抠懂。将  $\mu\text{Clinux}$

移植到不同 32 位系统上是计算机专家的事,非计算机专业的人士,仅仅是使用而已。对于计算机专业的学生,操作系统是必修课,有一部很好的教材,Andrew S. Tanenbaum 等著,王鹏等译《操作系统设计与实现》(第 2 版),电子工业出版社出版。这本书讲的是 Minix,实际上是简化了的 Unix、Linux。学过这部教材,进而掌握 Linux 原理就不难了。 $\mu$ Clinux 等嵌入式 Linux 不是实时的,仅对 Linux 做了简化,使之可用于嵌入式应用,但作不到 SoC。学习简化的 Linux,不如选用 Minix。当然, $\mu$ Clinux 可用于针对某特定应用的培训。运行  $\mu$ Clinux 至少需要 512KB 的 SDRAM,目前的技术水平片内 RAM 还不可能做那么大。而运行  $\mu$ C/OS-II 则只需要几 KB 的 RAM,十几 KB 的 Flash,这完全可以在单片机的片内实现。讲解 RTOS 原理, $\mu$ C/OS-II 足够好了。

## 5 教学内容要在稳定的前提下发展

8 位、16 位、32 位单片机将三分天下已是业界共识,作为教学,稳定至关重要。虽然单片机技术发展迅速,但开一门单片机教学的课程并非易事,需要教师、教材、实验器材等,特别是实验平台,需要较大的投入。教师要有相当的科研经验,用单片机做过研发,还要会讲。我的经验是,讲一门新课,至少要讲到第三年才能说会讲了或能讲好了。为了稳定,每年只能更新一小部分内容,要善于解决稳定和发展快这一对矛盾。RTOS 的教学可稳定很多年。 $\mu$ C/OS 已经十多年了,仍然好用,虽然每年都有新发展,但基本原理没有变化,我看  $\mu$ C/OS-II 至少还可以再讲 10 年;MINIX 快 20 年了,仍是一部好教材。实验平台也应尽量稳定的时间长一些,既然讲述的是开发方法,使用 8 位、16 位还是 32 位单片机其实是无所谓的。

由 8 位机一统天下,到 8 位、16 位、32 位并举,转型期定位单片机与嵌入式应用类课程的切入点在哪里为好?本人拟采用了以 16 位机 CPU12 为切入点。它比 8 位单片机复杂,比 32 位单片机简单,外围接口丰富(比一般 32 位机还要丰富),片内 RAM、ROM 资源适中。讲述了以汇编写监控程序开始,到用 C 语言写程序,再到移植  $\mu$ C/OS 这一方法,同样适于 8 位、32 位单片机。这种方法本身也始于 20 年前,逐渐增加 RTOS 是近 8 年的事,是相对稳定又有发展的。

对没有条件由 8 位机实验平台转向 16 位、32 位平台的学校,不必强求,仍可使用 8 位机平台。若使用的教学平台有几 KB 的 RAM、几十 KB 的 Flash,用于  $\mu$ C/OS-II 作 RTOS 教学已足够好,但希望不要

再用仿真器,而采用我们从写一个简单的监控程序,到移植  $\mu$ C/OS 的教学法。不必过多地讲授各种 I/O 接口的使用方法,让学生在写一个简单监控程序的基础上自己去驱动这些 I/O 模块。

有条件直接升级到 32 位单片机也是一种选择。不少学校选用了以 ARM 为 CPU 的单片机,但请注意三点。一是定位,若课程定位在非计算机专业的学生,运行  $\mu$ C/OS 之类 RTOS,可选择片内有几 KB、十几 KB 的 RAM、几十 KB 的 Flash、可工作在单片方式下的 ARM,这样会使教学平台很便宜。第二点是不要炒作,不要一哄而上。ARM 的应用定位很明确,是一切与媒体有关的便携式低功耗应用。ARM 是 32 位 CPU,并不是全部 32 位单片机。以 ARM 为 CPU 扩以几 MB 乃至十几 MB SDRAM、Flash 的、可以上 Linux 的昂贵平台,只适用于针对某类产品开发应用的培训,不适于用来教学,因为 Linux 在 PC 机上也能跑。第 3 点是学时与学生的基础,32 位单片机对于没有 8 位单片机基础的学生是很难掌握的,没有足够的学时,ARM 底层的东西是很难掌握的。

## 6 关于课程的定位

课程定位不同,即授课对象不同,课程的内容可以很不一样,但都必须符合学习的客观规律。我们有 2 门单片机与嵌入式应用课程,一门定位于电类本科生(我系核电子学专业),名为“单片机认识与实践”,32 学时,只讲简单 8 位单片机的入门知识,不讲 RTOS,面向还没有学过数字电路课程,对单片机有兴趣的 2 年级电类本科生。

由于物理学对计算机的需求几乎是无限的,故像互联网这样的计算机技术最先源于物理学的需求。我们系对部分本科生计算机能力的要求是很高的。接下来,部分学生将做一个单片机应用方面的 SRT (Student Research and Training Program) 项目,清华对 SRT 有专门的经费支持。学生设想一个简单的单片机应用原理性演示题目,利用课余时间,花半年到一年,设计一块印刷电路板、再把软件调出来,优秀作品可拿到每年的学生科展上评奖,甚至参加学生挑战杯的角逐。这些学生在毕业设计中,一般会做一个单片机应用方面的课题。这样上来的研究生甚至可以帮助我当研究生课辅导实验的小教师。

另一门课程是定位于全校非计算机专业的各系研究生,特别是那些可能在研究生课题中用到单片机的各专业学生。我们讲以 CPU12 为核心的 16 位单片机和基于  $\mu$ C/OS-II 的 RTOS。这两部分内容共安排课内 64 学时,其中授课与教师指导下的实验约各占一半。按校方要求,这类课程原则上课内、外学时



之比为 1:2,即学生课外要花 128 学时读书和进行无辅导下的实验。由于学生来自不同学科、不同专业,在单片机应用方面水平很不一样。计算机技术的发展是各行各业需求拉动的,而计算机技术的发展促进了需求。这里,需求是矛盾的主要方面。而个别研究生,特别是外校考入我校的非电类研究生,甚至没有学过微机原理之类课程。这里我们只能假设选修这门课的同学都有数字电路课的基础,会用 C 语言写程序。由于水平的参差不齐,及学生个人可能安排

的课外学时的差异,到课程结束时,每个人到达的水平也是很不一样的,故只能是各按步伐、共同前进。

教学、开课要符合学生认、知的客观规律,是由简单到复杂,由 8 位到 16 位、32 位,由汇编到 C,到 RTOS。要切记防止浮躁,也要教导我们的学生防止浮躁。我们能做到的仅仅是领学生入门而已,能指出一个大致的方向,不误人子弟已属难得。后来,能成为 IT 高手的,不是我们培养的,而是通过他们自己艰辛努力实现的。■

## 嵌入式 Linux 系统及其应用前景

重庆邮电学院 王 卓 包 杰

**摘要** 主要分析嵌入式 Linux 系统应用开发的特点;概述其开发过程和所面临的挑战;阐述嵌入式 Linux 的发展和应用前景。

**关键词** 嵌入式 Linux 操作系统 应用前景

近年来,随着计算技术、通信技术的飞速发展,特别是互联网的迅速普及和 3C(计算机、通信、消费电子)合一的加速,微型化和专业化成为发展的新趋势,嵌入式产品成为信息产业的主流。Linux 从 1991 年问世到现在,短短的十几年时间已经发展成为功能强大、设计完善的操作系统之一;可运行在 X86、Alpha、Sparc、MIPS、PPC、Motorola、NEC、ARM 等多种硬件平台,而且开放源代码,可以定制;可与各种传统的商业操作系统分庭抗争。越来越多的企业和研发机构都转向嵌入式 Linux 的开发和研究上,在新兴的嵌入式操作系统领域内也获得了飞速发展。

### 1 嵌入式 Linux 的特点

嵌入式系统是以应用为中心,以计算机为基础,软硬件可裁剪,适用于系统对功能、可靠性、成本、功耗严格要求的专用计算机系统,系统结构见图 1。实时性是嵌入式系统的基本要求,其次,还要求代码小,速度快,可靠性高。嵌入式 Linux(Embedded Linux)是指对 Linux 经过裁剪小型化后,可固化在存储器或单片机中,应用于特定嵌入式场合的专用 Linux 操作系统。嵌入式 Linux 的开发和研究已经成为目前操作系统领域的一个热点。与其它嵌入式操作系统相比(详见表 1),Linux 的特点如下。

第一, Linux 系统是层次结构且内核完全开放。Linux 是由很多体积小且性能高的微内核系统组成。在内核代码完全开放的前提下,不同领域和不同层次

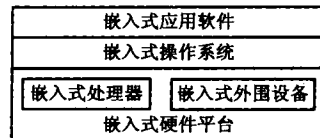


图 1 嵌入式系统结构

的用户可以根据自己的应用需要方便地对内核进行改造,低成本地设计和开发出满足自己需要的嵌入式系统。

第二,强大的网络支持功能。Linux 诞生于因特网时代并具有 Unix 的特性,保证了它支持所有标准因特网协议,并且可以利用 Linux 的网络协议栈将其开发成为嵌入式的 TCP/IP 网络协议栈。此外, Linux 还支持 ext2、fat16、fat32、romfs 等文件系统,为开发嵌入式系统应用打下了很好的基础。

第三, Linux 具备一整套工具链,容易自行建立嵌入式系统的开发环境和交叉运行环境,可以跨越嵌入式系统开发中仿真工具的障碍。Linux 也符合 IEEE POSIX. 1 标准,使应用程序具有较好的可移植性。

传统的嵌入式开发的程序调试和调试工具是用在线仿真器(ICE)实现的。它通过取代目标板的微处理器,给目标程序提供一个完整的仿真环境,完成监视和调试程序;但一般价格比较昂贵,只适合做非常底层的调试。使用嵌入式 Linux,一旦软硬件能够支持正常的串口功能,即使不用仿真器,也可以很好

地进行开发和调试工作,从而节省一笔不小的开发费用。嵌入式 Linux 为开发者提供了一套完整的工具链(tool chain)。它利用 GNU 的 gcc 做编译器,用 gdb、kgdb、xgdb 做调试工具,能够很方便地实现从操作系统到应用软件各个级别的调试。

表1 专用嵌入式实时操作系统与嵌入式linux 的比较

	专用嵌入式实时操作系统	嵌入式 Linux 操作系统
版权费	每生产一件产品需交纳一份版权费	免费
购买费用	数十万元 (RMB)	免费
技术支持	由开发商独家提供有限的技术支持	全世界的自由软件开发者提供支持
网络特性	另加数十万元 (RMB) 购买	免费且性能优异
软件移植	难 (因为是封闭系统)	易, 代码开放 (有许多应用软件支持)
应用产品开发周期	长, 因为可参考的代码有限	短, 新产品上市迅速, 因为有许多公开的代码可以参考和移植
实时性能	好	须改进, 可用 RT_Linux 等模块弥补
稳定性	较好	较好, 但在高性能系统中须改进

第四, Linux 具有广泛的硬件支持特性。无论是 RISC 还是 CISC、32 位还是 64 位等各种处理器, Linux 都能运行。Linux 通常使用的微处理器是 Intel X86 芯片家族,但它同样能运行于 Motorola 公司的 68K 系列 CPU 和 IBM、Apple、Motorola 公司的 PowerPC CPU 以及 Intel 公司的 StrongARM CPU 等处理器。Linux 支持各种主流硬件设备和最新硬件技术,甚至可以在没有存储管理单元(MMU)的处理器上运行。这意味着嵌入式 Linux 将具有更广泛的应用前景。

## 2 Linux 嵌入式系统开发平台

### 2.1 系统软件操作平台

操作系统是一种在计算机上运行的软件。它的主要任务是管理计算机上的系统资源,为用户提供使用计算机及其外部设备的接口。它存在的目的是为了管理所有硬件资源,并且提供应用软件一个合适的操作环境。嵌入式系统由于硬件的限制,通常只具有极稀少的硬件资源,如主频较低的 CPU、较小的内存、小容量的固态电子盘芯片 DoC(Disk on Chip)或 DoM(Disk on Module)替代磁盘等。在使用电池的系统中,它还要实现低功耗,延长电池使用时间的功能。

Linux 作为嵌入式操作系统是完全可行的。因为 Linux 提供了完成嵌入功能的基本内核和所需要的所有用户界面,能处理嵌入式任务和用户界面。将 Linux 看作是连续的统一体,从一个具有内存管理、

任务切换和时间服务及其它分拆的微内核到完整的服务器,支持所有的文件系统和网络服务。Linux 作为嵌入式系统,是一个带有很多优势的新成员。它对许多 CPU 和硬件平台都是易移植、稳定、功能强大、易于开发的。

嵌入式 Linux 系统需要下面三个基本元素:系统引导工具(用于机器加电后的系统定位引导)、Linux 微内核(内存管理、程序管理)、初始化进程。但如果要它成为完整的操作系统并且继续保持小型化,还必须加上硬件驱动程序、硬件接口程序和应用程序组。

Linux 是基于 GNU 的 C 编译器,作为 GNU 工具链的一部分,与 gdb 源调试器一起工作的。它提供了开发嵌入式 Linux 系统的所有软件工具。

### 2.2 系统硬件平台

在选择硬件时,常由于缺乏完整或精确的信息而使硬件选择成为复杂且困难的工作。硬件开发成本常是我们很关心的。当考虑硬件成本时,须要考虑产品的整个成本而不仅是 CPU 的成本。因为合适的 CPU,一旦加上总线逻辑和延时电路使之与外设一起工作,硬件系统就可能变得非常昂贵。如果要寻找嵌入式软件系统,那么,应首先确定硬件平台,即确定微处理器 CPU 的型号。

现在比较流行的硬件平台有 Intel 公司的 StrongARM 系列, Motorola 公司的 DragonBall 系列, NEC 公司的 VR 系列, Hitachi 公司的 SH3、SH4 系列等等。选定硬件平台前,首先要确定系统的应用功能和所需要的速度,并制定好外接设备和接口标准。这样才能准确地定位所需要的硬件方案,得到性价比最高的系统。

## 3 嵌入式 Linux 系统开发模式

嵌入式系统通常为一个资源受限的系统。直接在嵌入式系统的硬件平台上编写软件比较困难,有时甚至是不可能的。一般流程见图 2。目前,一般采用的办法是,先在通用计算机上编写程序,然后通过交叉编译,生成目标平台上可运行的二进制代码格式,最后下载到目标平台上的特定位置上运行,具体步骤如下。

第一步,建立嵌入式 Linux 交叉开发环境。目前,常用的交叉开发环境主要有开放和商业两种类型。开放的交叉开发环境的典型代表是 GNU 工具链,目前已经能够支持 x86、ARM、MIPS、PowerPC 等多种处理器。商业的交叉开发环境主要有 Metrowerks CodeWarrior、ARM Software Development Toolkit、SDS Cross compiler、WindRiver