

# 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)

2003(1-6)

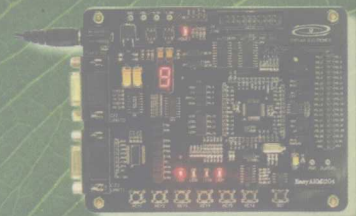
### 合订本

[Http://www.zlgmcu.com](http://www.zlgmcu.com)

# EasyARM2104 开发实验板

350元

- ARM核芯片采用的是PHILIPS的LPC2104, 可进行JTAG仿真调试, 支持ADS1.2集成开发环境;
- 完全自主设计的软硬件、拥有自主知识产权的JTAG仿真技术, 用户使用没有后顾之忧;
- 板上具有主/从JTAG选择电路;
- 所有I/O全部引出, 可以和用户的外部电路连接搭配;
- 4个独立LED、6个独立键盘控制;
- 具有RS232转换电路, 可与上位机进行通讯;
- 具有I<sup>2</sup>C器件、SPI器件接口器件;
- 具有滤波电路, PWM输出可实现DAC转换功能;
- 板上的功能部件可使用跳线器连接或断开连接;
- 提供基于PC的人机界面, 方便调试实时时钟、串口通信等功能;
- 提供详细的使用说明书, 实验例程。



### 广州周立功单片机发展有限公司

地址: 广州市天河北路689号光大银行大厦16楼D2  
电话: (020) 38730916 38730917  
38730976 38730977

真: (020) 38730925    邮编: 510630

术支持: (020) 85520995 85539796

85541621 85541773

85547386 (每条线均可接收传真)



广州专卖店: (020) 87578634

北京周立功: (010) 62536178

上海周立功: (021) 62199015

南京周立功: (025) 3613221

成都周立功: (028) 85499320

深圳周立功: (0755) 83287588

杭州周立功: (0571) 88271834

### 代理商 (诚征各地代理商)

哈尔滨爱思: (0451) 2588391

沈阳新荣达: (024) 23966006

南京爱思: (025) 4412473

武汉合欣: (027) 87858706

天津启东: (022) 27412234

北京启东: (010) 82667748

长沙启东: (0731) 2237457

西安华海: (029) 3063000

上海炜煌: (021) 53081480

济南历下诚信: (0531) 6123703

长春通州科教: (0431) 5653784

合肥华杰: (0551) 3663158

重庆飞龙: (023) 63538042



## PHILIPS



中国代理

《单片机与嵌入式系统应用》合订本 (2003 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：北京市松源印刷有限公司  
定 价：45.00 元

---

# 目 录

## 1 业界论坛

(期,页)

- 1.1 嵌入式系统应用设计应关注 MPW ..... (1.3)
- 1.2 嵌入式系统关键技术分析与开发应用 .....  
... 夏玮玮 沈连丰 肖 婕 毛宇斌 (2.7)

## 2 专题论述

- 2.1 三种嵌入式操作系统的分析与比较 .....  
..... 熊 江 (5.15)
- 2.2 单片机系统中的多任务多线程机制的实现 ...  
..... 冉 全 章漆峰 (6.19)
- 2.3 嵌入式系统硬件抽象层的建立及软件的可移植  
性设计 ..... 肖踞雄 (1.23)
- 2.4 RTLinux 下的一种实时应用通信机制 .....  
..... 卢绮阁 舒嵘 (2.25)
- 2.5 嵌入式 Linux 的 MiniGUI 研究和移植 .....  
..... 闫玉忠 石 理 (6.29)
- 2.6 Java 技术在嵌入式系统中的应用 .....  
..... 曲鸣镛 马灵芝 (1.32)
- 2.7 用 setjmp 构建简单协作式多任务系统 .....  
..... 胡道徐 (3.36)
- 2.8 嵌入式系统中的 Flash 存储管理 .....  
..... 陈 峰 尹 寒 (2.39)
- 2.9 嵌入式计算系统调测方法与技术综述 .....  
..... 彭良清 (2.42)
- 2.10 基于 VxWorks 的嵌入式系统复合通信模式  
..... 王 健 赵 彬 李 枫 (4.46)
- 2.11 PSoC 的动态配置能力及其实现方法 .....  
..... 郭 帅 何永义 (1.50)
- 2.12 使用 Rhapsody 软件框架和 UML 的实时系统  
开发 ..... 孙 强 张振华 (2.53)
- 2.13 基于神经网络 ZISC 的模式识别系统 .....  
..... 陈 昊 (1.57)
- 2.14 PPSM 嵌入式 RTOS 中的窗口系统开发 ...  
..... 王 毅 张仕斌 刘文清 (3.61)
- 2.15 MicroWindows 体系结构及应用程序接口\*  
..... 吴升艳 胡 冰 岳春生 (5.65)
- 2.16 基于混合 TCP-UDP 的 HTTP 协议实现方法  
..... 王 超 (2.68)
- 2.17 嵌入式 WebServer 技术及其实现 .....  
..... 卢 虎 李 勇 李志芳 (5.71)

- 2.18 TMS320C55x 的指令流水线及其效率的提高  
..... 梁 俊 王 玲 (5.73)
- 2.19 基于 DSP 的跟踪频率变化的交流采样技术  
..... 肖宛昂 陈剑云 (3.76)
- 2.20 如何在 32 位 CPU 编译中实现 64 位定点运算  
..... 张 驰 吕维先 许志鹏 (3.79)
- 2.21 QNX 4.25 设备驱动程序的编写 .....  
..... 曹 园 吴 勇 傅 鹏 胡利中 (4.81)
- 2.22 VxWorks 汉字显示解决方案 .....  
..... 董 磊 周金明 杨 磊 (4.84)
- 2.23 双向 CATV 网中控制信令的传送 .....  
..... 阮 元 (6.87)
- 2.24 如何仿真单片机的外围设备 .....  
..... 荣 蓉 吕强中 (6.91)
- 2.25 基于 MSP430 的极低功耗系统设计 .....  
..... 董文军 汪仁煌 (6.94)
- 2.26 嵌入式系统与普适计算 ..... 熊 江 (4.97)

## 3 技术纵横

- 3.1 嵌入式 Linux 系统下 Microwindows 的应用...  
..... 吴升艳 岳春生 胡 冰 (6.103)
- 3.2  $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$  任务栈处理的一种改进方法 .....  
..... 彭良清 (4.106)
- 3.3  $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$  的多任务信息流与 CAN 总线驱动\*  
..... 张海峰 段登平 陈文芴 (3.109)
- 3.4  $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$  在 EP7312 上的移植\* .....  
..... 乌 欣 (6.113)
- 3.5  $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$  在 S3C44B0X 处理器上的移植 ...  
..... 张佳进 张艳诚 胡亚东 杨燕云 (3.115)
- 3.6 JTAG 口及其对 Flash 的在线编程 .....  
..... 李 蒙 舒云星 (6.118)
- 3.7 用汇编语言实现 BCH 解码校验算法\* .....  
..... 沈庆跃 (2.120)
- 3.8 CD-ROM 格式数据的软解码模块设计 .....  
..... 李建兵 牛忠霞 周东方 (5.122)
- 3.9 I<sup>2</sup>C 器件接口 IP 核的 CPLD 设计 .....  
..... 李明峰 李沁遥 (1.126)
- 3.10 用 CPLD 控制曼彻斯特编解码器 .....  
..... 胡明昕 邵高平 (5.128)
- 3.11 用 CPLD 实现单片机读写模块 .....  
..... 于开生 李东兵 (6.131)

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

- 3.12 基于 FPGA 的高速高精度频率测量的研究  
..... 包明 赵明富 郭建华 (2.134)
- 3.13 用 FPGA 实现数据远距离的高精度传输 ...  
..... 吴杰 吴岳 (5.137)
- 3.14 异步串行接口与以太网服务器的连接\* .....  
... Robert Muchsel 文 梁成强 译 (6.141)
- 3.15 基于 DSP 和以太网的数据采集处理系统 ...  
毛轶锋 周富大 陈华志 朱洪兴 (6.143)
- 3.16 WindowsCE.Net 下 CAN 卡的驱动程序设计  
..... 徐平 蒋健 张弘 (4.146)
- 3.17 Windows CE 下串行通信的实现\* .....  
..... 王剑 杨大凯 蔡伯根 (3.150)
- 3.18 采用 VXD 技术实现实时通信\* .....  
..... 汪东 徐海波 赵先周 (5.153)
- 3.19 SHARC 阵列板的 VMEBus 通信分析与应用  
..... 王健 赵彬 杨强 (3.156)
- 3.20 点对多点的多任务无线通信\* .....  
..... 聂光义 (3.160)
- 3.21 用软件无线电技术实现通用卫星测控平台\*  
..... 张成鹤 王平 郑林华 (1.163)
- 3.22 QNX 操作系统及网络设备驱动模块 .....  
..... 胡海 黄本雄 (1.166)
- 3.23 TMS320C5410 烧写 Flash 实现并行自举引导  
..... 唐冰 (4.169)
- 3.24 RSA 算法的 TMS320C54x DSP 实现 .....  
..... 郭东文 闫西海 (2.174)
- 3.25 TMS320F240 片内 PWM 实现 D/A 扩展功能  
..... 向先波 徐国华 张琴 (3.176)
- 3.26 错误检测与纠正电路的设计与实现\* .....  
..... 李飞 张志敏 王岩飞 (2.180)
- 3.27 汉字的动态编码与显示方案\* .....  
安学军 张永军 梁祥 高作林 (1.183)
- 3.28 PowerPC 和 Dallas 的时钟芯片接口设计 ...  
..... 杨中伟 (4.186)
- 3.29 12 位高速 ADC 存储电路设计与实现 .....  
..... 刘延华 张承学 代芬 (5.189)
- 4.5 基于 ARM 的实时测控系统开发平台 .....  
..... 崔龙 周启明 江文瑞 (1.206)
- 4.6 ARM7 系统中实现 CF 卡存储的文件系统设计  
..... 张亦楠 岳春生 (5.210)
- 4.7 AM30LV0064D 在单片机系统中的典型应用  
..... 张翼 (1.212)
- 4.8 基于凌阳单片机的语音信号实时采集\* .....  
..... 胡峻辉 王蓓蕾 李晶皎 (4.215)
- 4.9 用 AMBE-1000 实现的语音分组技术 .....  
..... 谭月杰 丁晓明 (6.218)
- 4.10 用 Ax88796 实现 SA1110 的以太网接口 .....  
..... 陈翀 刘乃安 (3.220)
- 4.11 用 MC9S12H256 实现异步电机变频调速 ...  
..... 周建斌 罗飞 (2.222)
- 4.12 基于 TM1300 的可视电话终端研究 .....  
..... 黄红兵 沈文光 杨玲君 (2.226)
- 4.13 基于 TRF4900 的无线发射电路设计与应用  
..... 黄智伟 王彦 徐祖华 (4.228)
- 4.14 长距离通信器 S1503 的应用编程原理 .....  
..... 彭月平 袁涛 战仁军 (1.233)
- 4.15 单片机与 AD1555/AD1556 的接口和软件设计  
..... 石旭生 李红军 邓方林 (3.236)
- 4.16 串行 DataFlash 存储器及其与单片机的接口  
..... 王文兴 颜国正 (1.239)
- 4.17 HDNS2000 光学感测芯片在运动检测中的应  
用 ..... 吕刚 施光林 (2.243)
- 4.18 电话信令收发器 CMX860 在信息终端中的应  
用 ..... 邵将 沈家顺 (3.246)
- 4.19 AD7715 在精密分析仪器中的应用研究 .....  
..... 冉全 章涤峰 钟时明 (4.249)
- 4.20 Flash 存储器在 TMS320C3x 系统中的应用  
..... 李爱武 陈光大 刘湘明 (6.253)
- 4.21 基于 FPGA 的总线型 LVDS 通信系统设计  
..... 卜佑军 朱卫国 (5.256)
- 4.22 基于 FT245BM 的简易 USB 接口开发 .....  
..... 林水明 章坚武 骆懿 (6.259)
- 4.23 I<sup>2</sup>C 总线 CMOS 型 PB-0300 数字图像传感器  
..... 张宝明 梁一 曾周末 (6.262)
- 4.24 基于定点 DSP 的 CMOS 数字视频监控终端设  
计 ..... 段传华 陈广旭 王明俊 张树才 (6.265)
- 4.25 灰度液晶 HD66421 的模块化及其应用\* ...  
..... 赵昕 李维祥 孙桂玲 (5.268)
- 4.26 MSP430 串行写入 BOOTSTRAP 与加密熔断  
功能 ..... 陈曦 常越 (5.272)

#### 4 新器件新技术

- 4.1 x86 构架的 SoC 及 STPC 的一种应用 .....  
..... 曾田 马中 (2.195)
- 4.2 一种新颖的多媒体 SoC 芯片——Virgine G2  
..... 曾煜 (1.198)
- 4.3 一种新型单片机 MSC1210 及其应用 .....  
..... 杨波 常越 邹勇波 (3.200)
- 4.4 基于 Geode™ GX1 的嵌入式系统设计 .....  
..... 黄典刚 (4.203)

- 4.27 C8051F02X 外部存储器接口和 I/O 端口配置  
..... 魏永红 张 勉 赵 捷 (4.275)
- 4.28 AD $\mu$ C812 内部 ADC 的应用\* .....  
孙 会 朱洪涛 熊瑞文 李新刚 (5.277)
- 4.29 采用 PCI9052 及 GP2010 实现 GPS 信号采集  
..... 沈小虎 (2.280)
- 4.30 CF 卡在手机测试系统中的应用 .....  
..... 罗 超 盛翊智 (3.283)
- 5.18 用 AT89C2051 实现电话远程控制家用电器  
..... 谢孝良 (1.346)
- 5.19 基于数字电位器与 DSP 的模型飞机飞行动作  
实时控制 ..... 糜国美 周浩敏 (3.349)
- 5.20 由 W3100A 构成嵌入式网关的家庭智能系统  
..... 赵国安 高 航 张有成 (4.352)
- 5.21 基于 S6700 芯片与 ISO/IEC15693 标准的读  
卡器设计\* ..... 窦建革 窦春燕 (3.355)
- 5.22 GPIB 芯片 TNT4882 在多路程控电源中的应  
用\* .....  
..... 王一鸣 苗睿锋 葛全喜 (6.358)

## 5 应用天地

- 5.1 基于 Linux 的嵌入式网络存储器设计\* .....  
..... 范莉莉 田庆华 (6.289)
- 5.2 由  $\mu$ Clinux 与 MC68VZ328 构成数字存储示波  
器 ..... 范晓珣 高金山 (5.292)
- 5.3 使用  $\mu$ C/OS-II 操作系统的短信息电话机 .....  
..... 何昭辉 谢吉华 (6.295)
- 5.4 VxWorks 在通信设备 CMTS 中的应用 .....  
..... 郭立钱 甘育裕 (5.298)
- 5.5 在 PLD 开发中提高 VHDL 的综合质量 .....  
..... 石俊斌 林 辉 (4.302)
- 5.6 CPLD 器件在时间统一系统中的应用 .....  
..... 李秋娜 (2.306)
- 5.7 CPLD 器件在电机调速中的应用 .....  
..... 石俊斌 林 辉 (5.311)
- 5.8 CPLD 在多路高速同步数据采集系统中的应  
用\* ..... 鹿百泉 余海龙 姬 劳 (1.314)
- 5.9 单片机和 CPLD 在声波测井中的应用 .....  
..... 詹 瞻 邵高平 杨天池 王 欣 (5.318)
- 5.10 VHDL 在高速图像采集系统中的应用设计  
..... 李博文 杨学友 李慧娟 (1.321)
- 5.11 基于 FPGA 的多路模拟量、数字量采集与处  
理系统 .....  
..... 张学强 秦龙勇 谢拴勤 (4.323)
- 5.12 用 TMS320LF2407 和 FPGA 实现电能质量监  
测 ..... 朱正超 姬 劳 彭卫东 (6.328)
- 5.13 基于 TMS320VC5402 的指纹识别系统 .....  
..... 杨志龙 张维新 寇建锋 (3.331)
- 5.14 基于 24 位 DSP56311 的 A/D 采集系统设计\*  
..... 刘惠鹏 周浩敏 (3.334)
- 5.15 PIC 单片机在电话远程控制器中的低功耗设  
计 ..... 梁子旭 (5.337)
- 5.16 用 AT89C51 设计智能流量显示仪\* .....  
..... 刘 娜 (4.341)
- 5.17 AT89C51 单片机在无线数据传输中的应用  
李洪涛 皇甫堪 王 展 闫吉杰 (6.344)
- 5.23 PSD913F2 在一种电台中的应用 .....  
..... 张兴国 徐筱麟 (2.362)
- 5.24 用实时时钟芯片 DS1305 启动数据采集系统  
..... 黄志勇 邹久朋 唐鹏程 (4.365)
- 5.25 无驱动 USB 认证模块在电子商务中的应用\*  
..... 谢知非 (2.367)
- 5.26 设计具有 ARQ 功能的全双工数据电台 .....  
..... 李耀民 张向荣 (3.370)
- 5.27 基于 IC 卡的记录式温度表 .....  
..... 过幼南 (2.374)
- 5.28 全数字电动执行器的开发与应用 .....  
..... 余君兰 袁 艳 张泰山 (3.376)
- 5.29 铁路交通信息系统 PDA 的低功耗设计 .....  
..... 胡泽明 (1.380)

## 6 经验交流

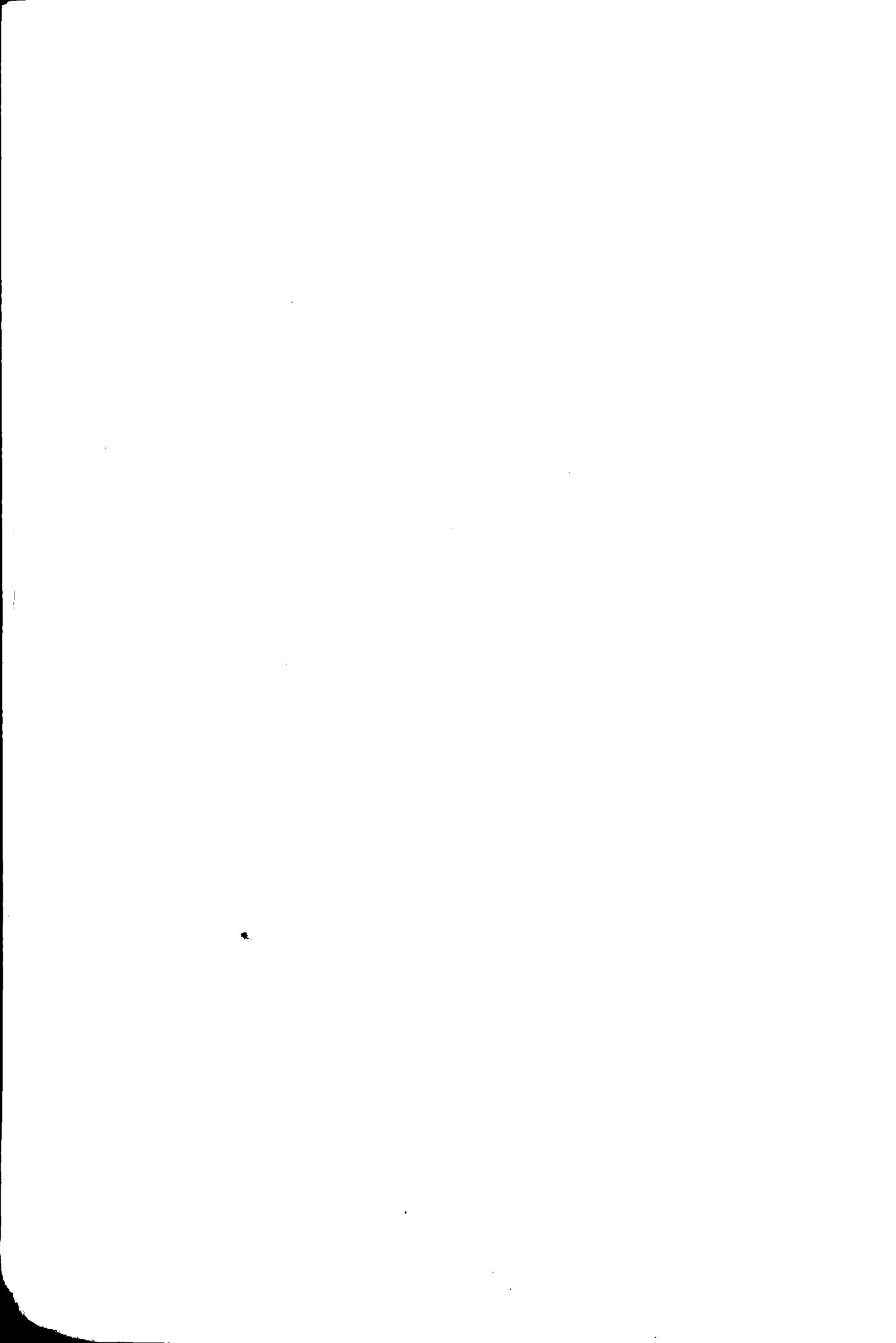
- 6.1 单片机系统的电磁兼容性设计 .....  
..... 黄再银 (5.387)
- 6.2 实时任务处理程序设计中“易变的”变量 .....  
..... 吴 群 (4.390)
- 6.3 AVR-90 三字节浮点库及其使用说明\* .....  
..... 李 杰 (2.391)
- 6.4  $\mu$ C/OS-II 在 C167CR 单片机上的移植\* .....  
..... 赵方庚 姜 丁 朱先民 赵慧敏 (1.393)
- 6.5  $\mu$ C/OS-II 在 TMS320LF2407 上的移植及应  
用 ..... 彭卫东 姬 劳 (4.394)
- 6.6 ANSI C 代码在 TMS320C55X 上的移植和优  
化 ..... 于向国 董金明 (3.398)
- 6.7 PIC 单片机软件异步串行口实现技巧\* .....  
..... 张明峰 (4.401)
- 6.8 AVR 单片机软件模拟 UART 通信接口 .....  
..... 吕 刚 李 强 (2.403)
- 6.9 一种简单的通用串行通信控制器 .....  
..... 彭宣戈 (1.405)

- 6.10 如何编制高效的键译程序※ ..... 李 杰 (5.407)
- 6.11 利用单片机 A/D 端口扩展键盘的一点改进 ..... 丁 茹 李 刚 (1.409)
- 6.12 旋钮式键盘及其与 AT89C52 的接口技术\* ..... 李德兵 (6.410)
- 6.13 MCS-51 外部中断方案的改进 ..... 安会霞 李刚 (3.412)
- 6.14 P89C51RD2 中的 WatchDog 用法 ..... 吴 群 (2.413)
- 6.15 C8051F 单片机电压基准的不同用法 ..... 关学忠 赵玉峰 (4.414)
- 6.16 一种通用的 RS232/RS485 转换器 ..... 刘永洪 (2.416)
- 6.17 一种基于 RS485 总线的网络协议及其实现方法 ..... 沈红星 (6.418)
- 6.18 51 系列单片机双 CPU 系统通信方法 ..... 赵跃龙 王霜剑 (3.420)
- 6.19 基于 MCU 的 I<sup>2</sup>C 总线传输设计\* ..... 郝冬妮 孙立春 李晶皎 (6.423)
- 6.20 单片机如何控制 MODEM ..... 张晓健 (4.424)
- 6.21 单片机从机的波特率自适应设置\* ..... 严天华 周 辉 (6.426)
- 6.22 MAX195 与单片机的三种接口方法 ..... 彭宣戈 (5.428)
- 6.23 MSP430 中模数转换器的使用方法 ..... 肖 琴 常 越 (5.430)
- 6.24 基于 CPLD 的 DSP 和液晶模块接口设计 ..... 李洋洋 (3.432)
- 6.25 嵌入式系统中 FFT 算法研究 ..... 肖宛昂 (4.434)
- 6.26 在 FPGA 中实现高精度快速除法 ..... 王 飞 (2.436)
- 6.27 单片机软件产生高频方波的一种方法 ..... 陈松岭 (5.438)
- 6.28 51 系列单片机慢速读写的时序扩展 ..... 雷维嘉 (6.441)
- 6.29 嵌入式系统中采样限幅电路分析 ..... 常 越 张 蕾 (1.444)
- 6.30 利用 DS1302 时钟芯片实现“时间锁”的方法 ..... 陶海敏 (3.445)
- 6.31 浅谈通用可编程控制器共享存储区的分配策略 ..... 曹庆静 郑筱春 (1.447)
- 6.32 级联驱动 LED 的 MAX7221 在智能测控仪器中的应用\* ..... 姚玉宝 邢 武 李 锋 (1.450)

## 7 学习园地

- 7.1 如何用 C 语言开发 DSP 嵌入式系统 ..... 肖宛昂 曾为民 (1.457)
- 7.2 TMS320F240 中断系统分析及 C 语言编程 ..... 曾为民 (2.460)
- 7.3 uClinux 的设备驱动程序开发 ..... 陆宝裕 邵贝贝 李荐民 (6.464)
- 7.4 用 WinDriver 开发适合多平台的设备驱动程序 ..... 吕琦鹏 顾 红 苏卫民 (5.466)

# 1 业界论坛





# 嵌入式系统应用设计应关注 MPW

本刊编辑部

SoC 是各种类型嵌入式应用系统的方向。长期以来,资金、批量因素一直制约着中小企业、研究机构、高等院校等部门直接采用微电子设计技术,运用 ASIC 模式进行嵌入式应用系统的开发;然而,嵌入式应用系统设计与微电子设计相融合已是一个技术发展趋势。为了解决这一瓶颈,国外从上世纪 80 年代初即开始实施了 MPW 服务计划与体系。MPW 服务计划的实施大大加速了 IC 产业和嵌入式系统应用的发展。许多专家认为,我国 IC 产业、IC 设计、ASIC 应用长期落后,与我国长期以来忽视 MPW 服务计划与体系有关。可喜的是,近年来政府部门及相关单位已重视此问题,MPW 服务体系研究已正式列入国家 863 计划,初步建立了几家 MPW 服务中心。MPW 服务体系对我国 IC 产业的发展势头已开始显现。

## 1 MPW 服务概述

### 1.1 什么是 MPW 服务

在集成电路开发阶段,为了检验开发是否成功,必须进行工程流片。通常流片时至少需要 6~12 片晶圆片,制造出的芯片达上千片,远远超出设计检验要求;一旦设计存在问题,就会造成芯片大量报废,而且一次流片费用也不是中小企业和研究单位所能承受的。多项目晶圆 MPW (Multi-Project Wafer) 就是将多个相同工艺的集成电路设计在同一个晶圆片上流片,流片后每个设计项目可获得数十个芯片样品,既能满足实验需要,所需实验费用也由参与 MPW 流片的所有项目分摊,大大降低了中小企业介入集成电路设计的门槛。

### 1.2 MPW 的需求与背景

上世纪 80 年代后,集成电路加工技术飞速发展,集成电路设计成了 IC 产业的瓶颈,迫切要求集成电路设计跟上加工技术;随着集成电路应用的普及,集成知识越来越复杂,并向系统靠近,迫切要求系统设计人员参与集成电路设计;为了全面提升电子产品的品质与缩短开发周期,许多整机公司和研究机构纷纷从事集成电路设计。因此,大面积、多角度培养集成

电路设计人才迫在眉睫,而集成电路设计的巨额费用成为重要制约因素。

实施 MPW 技术服务必须有强有力的服务机构、设计部门和 IC 生产线。

### 1.3 MPW 服务机构的任务

① 建立 IC 设计与电路系统设计之间的简便接口,以便于系统设计人员能够直接使用各种先进的集成电路加工技术实现其设计构想,并以最快的速度转化成实际样品。

② 组织多项目流片,大幅度减少 IC 设计、加工费用。

③ 不断扩大服务范围:从提供设计环境、承担部分设计,到承担全部设计、样片生产,以帮助集成电路用户或开发方完成设计项目。

④ 帮助中小企业实现小批量集成电路的委托设计、生产任务。

⑤ 支持与促进学校集成电路的设计与人才培养。

### 1.4 MPW 技术简介

#### (1) 项目启动阶段

MPW 组织者首先根据市场需要,确定每次流片的技术参数、IC 工艺参数、电路类型、芯片尺寸等。设计时的工艺文件:工艺文件由 MPW 组织者向 Foundry(代工厂)索取,然后再由设计单位向 MPW 组织者索取。提交工艺文件时,双方都要签署保密协议。

#### (2) IP 核的使用

参加 MPW 的项目可使用组织者或 Foundry 提供的 IP 核,其中软核在设计时提供,硬核在数据汇总到 MPW 组织者或 Foundry 处理后再进行嵌入。

#### (3) 设计验证

所有参加 MPW 的项目汇总到组织者后,由组织者负责对设计的再次验证。验证成功后,由 MPW 组织者将所有项目版图综合成最终版图交掩膜版制版厂,开始流片过程。

#### (4) 流片收费

每个项目芯片价格按所占 Block 的大小而非芯片实际大小计算。流片完成后,MPW 组织者向每个

项目提供 10~20 片裸片。需封装、测试则另收费。

## 2 国外 MPW 公共技术平台与公共技术服务状况

### (1) MPW 服务机构创意

1980 年,美国国防部军用先进研究项目管理局(DARPA)建立了非赢利的 MPW 加工服务机构,即 MOS 电路设计的实现服务机构 MOSIS (MOS Implementation System)服务机构,为其下属研究部门所设计的各种集成电路寻找一种费用低廉的样品制作途径。MPW 服务机构与方式的思路应运而生。加工服务内容:从初期的晶圆加工到后续增加的封装、测试、芯片设计。

### (2) MOSIS 机构的发展

考虑到 MPW 服务的技术性,1981 年 MOSIS 委托南加州大学管理。在 IC 产业剧烈的国际竞争环境下,培养集成电路设计人才迫在眉睫。1985 年,美国国家科学基金会 NSF 支持 MOSIS,并和 DARPA 达成协议,将 MPW 服务对象扩大到各大学的 VLSI 设计的教学活动;1986 年以后在产业界的支持下,将 MPW 服务扩大到产业部门尤其是中小型 IC 设计企业;1995 年以后,MOSIS 开始为国外的大学、研究机构以及商业部门服务。服务收费:国内大学教学服务免费,公司服务收费,国外大学优惠条件收费,国外公司收费较国内公司要高。

### (3) 其它国家的 MPW 服务机构

法国:1981 年建立了 CMP (Circuit Multi Projects)服务机构,发展迅速,规模与 MOSIS 接近,对国外服务也十分热心。1981 年至今,已为 60 个国家的 400 个研究机构和 130 家大学提供了服务,超过 2500 个课题参加了流片。1990 年以前,CMP 的服务对象主要是大学与研究所,1990 年开始为中小企业提供小批量生产的 MPW 服务。由于小批量客户的不断增加,2001 年的利润比 2000 年增加了 30%。

欧盟:欧盟于 1995 年建立了有许多设计公司加盟的 EURO PRACTICE 的 MPW 服务机构,旨在向欧洲各公司提供先进的 ASIC、多芯片模块(MCM)和 SoC 解决方案,以提高它们在全球市场的竞争地位。EURO PRACTICE 采取了“一步到位解决方案”的服务方式,用户只要与任何一家加盟 EURO PRACTICE 的设计公司联系,就可以由该公司负责与 CAD 厂商、单元库公司、代工厂、封装公司和测试公司联系处理全部服务事项。

加拿大:1984 年成立了政府与工业界支持的非赢利性 MPW 服务机构 CMC (Canadian Microelectronics Corporation)联盟,是加拿大微电子战略联盟

(Strategic Microelectronics Consortium)的一部分。目前,CMC 的成员包括 44 所大学和 25 家企业。CMC 的服务包括:提供设计方法和其它产品服务,提高成员的设计水平;提供先进的制造工艺,确保客户的设计质量;提供技术及工艺的培训。

日本:1996 年依托东京大学建立了 VLSI 设计与教育中心 VDEC (VLSI Design and Education Center),开展 MPC (Multi - Project Chip)服务。VDEC 的目标是不断提高日本高校 VLSI 设计课程教育水平和集成电路制造的支持力度。2001 年,共有 43 所大学的 99 位教授或研究小组通过 VDEC 的服务,完成了 335 个芯片的设计与制造。VDEC 与主要 EDA 供应商都签有协议,每个 EDA 工具都拥有 500~1000 个 license;需要时,这些 license 都可向最终用户开放。VDEC 还对外提供第三方 IP 的使用,同时,VDEC 本身也在从事 IP 研究。

韩国:1995 年,在韩国先进科学技术研究院 (Korea Advanced Institute of Science and Technology)内建立了集成电路设计教育中心 IDEC (IC Design Education Center)。

可以看出,世界各先进国家都认识到 IC 产业在未来世界经济发展中的重要地位,在 IC 加工技术发展发展到一定阶段后,抓住了 IC 产业飞速发展的关键;在 IC 应用层面上普及 IC 设计技术和大力降低 IC 设计、制造费用,并及时建立有效的 MPW 服务机构,使 IC 产业进入了飞速发展期。纵观各国 MPW 服务机构不尽相同,但都具有以下特点:

- ① 政府与产业界支持的非赢利机构;
- ② 开放性机构,主要为高等学校、研究机构、中小企业服务;
- ③ 提供先进的 IC 设计与制造技术,保证设计出的芯片具有先进性与商业价值;
- ④ 提供 IC 设计与制造技术的全程服务。

## 3 我国 MPW 现状

我国大陆地区从上世纪 80 年代后半期开始进入 MPW 加工服务,从早期利用国外的 MPW 加工服务机构到民间微电子设计、加工的相关企业、学校联合的 MPW 服务,到近期政府、企业介入后的 MPW 公共服务体系的建设,开始显露了较好的发展势头。

### 3.1 与国外 MPW 加工服务机构合作

1986 年,北京华大与武汉邮科院合作利用德国的服务机构,免费进行了光纤二、三次群芯片组的样品制作,使武汉邮科院的通信产品得以更新换代。此后,上海交大、复旦、南京东南大学、北京大学、清华大

学、哈尔滨工业大学都从国外的 MPW 加工服务中获益匪浅。东南大学利用美国 MOSIS 机构的 MPW 加工服务,采用 0.25 $\mu\text{m}$  和 0.35 $\mu\text{m}$  的模数混合电路工艺进行了射频和高速电路的实验流片。

在与国外 MPW 服务机构的合作方面,东南大学射频与光电子集成电路研究所取得显著成果。建所初期就与美国 MOSIS、法国 CMP 建立合作关系。1998 年以境外教育机构身份正式加入 MOSIS,同年,利用 MOSIS 提供的台湾半导体公司的 CMOS 工艺设计规则、模型及设计资料开发了基于 Cadence 软件设计环境的高速、射频集成电路,完成了 5 批 0.35 $\mu\text{m}$ 、3 批 0.25 $\mu\text{m}$  CMOS 工艺共 40 多个电路的设计与制造,取得了许多国内领先、世界先进水平成果。2000 年东南大学射光所还与法国的 CMP 组织正式签订了合作协议。

为了推动大陆的 MPW 服务,射光所从 2000 年开始利用美国 MOSIS 机构为国内客户服务,建立了 MPW 服务网页,向公众及时发布流片时间及加入 MPW 的流程和手续。2001 年,射光所通过 MOSIS 利用 TSMC 的 0.35 和 0.25 $\mu\text{m}$  CMOS 工艺为清华大学、信息产业部第 13 所、南通工学院完成了 3 批 10 多个芯片的设计制造。目前,10 多个高校、研究机构、企业成为射光所 MPW 成员。

### 3.2 高校、企业、研究机构合作实现 MPW 服务

90 年代,上海复旦大学开始着手建立国内 MPW 加工服务机构;1995 年,无锡上华微电子有限公司开始承担 MPW 加工服务,并于 1996 年组织了第一次 MPW 流片;1997 年至 1999 年在上海市的支持下,连续组织了 6 次 MPW 流片,参加项目有 82 个;2000 年受国家火炬计划、上海集成电路设计产业化基地、上海市科委及上海集成电路设计研究中心委托又组织了 3 次 35 个项目的 MPW 流片。清华大学与无锡上华合作,针对上华工艺,开发了 0.6 $\mu\text{m}$  单元库,开始了 MPW 加工服务,并将校内的工艺线用于 MPW 加工服务。近年来,在 863 VLSI 重大项目规划指引下,在上海、北京、深圳、杭州等地陆续成立了集成电路产业化基地,进一步推动了 MPW 加工服务的开展。清华大学从 2000 年开始,利用上华 0.6 $\mu\text{m}$  CMOS 工艺为本校以及浙江大学、合肥工业大学组织了 4 次 MPW 流片,总共实现了 106 项设计;上海集成电路设计研究中心与复旦大学,于 2001 年利用上华 1.0 和 0.6 $\mu\text{m}$  CMOS 工艺和 TSMC 的 0.3 $\mu\text{m}$  CMOS 工艺,为产业界、教育界进行了 8 次 MPW 流片,实现了 109 个设计项目。

随着中国半导体工业飞速发展,将会在更多的先

进工艺生产线为 MPW 提供加工服务,许多境外的半导体公司也在积极支持我国的 MPW 加工服务。随着上海、北京多条具有国际先进水平的深亚微米 CMOS 工艺线的建成,国家级的 MPW 计划会得到飞速发展。

### 3.3 台湾地区的 MPW 加工服务

1992 年在台湾科学委员会的支持下,成立了集成电路设计和系统设计研究中心 CIC。其目的是对大专院校的集成电路/系统设计提供 MPW 服务,对集成电路/系统设计人员进行培训,并推动产业界与学院的合作研究项目。到目前为止,CIC 已为超过 100 家的台湾院校提供了 MPW 服务,总计有 3909 个 IC 项目流片成功,其中,76 家大专院校有 3423 项,40 多家研究所和产业界有 486 项。在 EDA 工具方面,有多家的 IC/SYSTEM 设计工具已运用在 MPW 的设计流程中。到目前为止,已有 91 家大专院校安装了 14100 多个 EDA 工具的许可证,另外,0.6 $\mu\text{m}$  1P3M CMOS、0.35 $\mu\text{m}$  1P4M CMOS、0.25 $\mu\text{m}$ 1P5M CMOS 和 0.18 $\mu\text{m}$ 1P6M CMOS 的标准单元库已开始使用。除了常规 MPW 服务,CIC 还向大专院校提供培训:2001 年有 7000 人次,每年还有 2 次为产业界提供的高级培训。

台湾积体电路制造股份公司(台积电:TSMC)从 1998 年提供 MPW 服务,成为全球 IC 设计的重要伙伴。2000 年以来台积电提供了 100 多次 MPW 服务,并完成了 1000 个以上 IC 芯片项目的研制。目前,台积电已分别与上海集成电路设计研究中心、北京大学微处理器研究开发中心合作,提供 MPW 服务。

## 4 我国大陆地区 MPW 服务基地的建设

由于大陆地区原有微电子研究机构的历史配置,在进入基于 MPW 服务方式后,这些研究机构先后都介入了 IC 设计的 MPW 服务领域,并开始建立相应的 MPW 服务基地。

### 4.1 上海复旦大学与集成电路设计研究中心(ICC)

上海复旦大学专用集成电路与系统国家重点实验室在上海市支持下,于 1997 年成立了“上海集成电路设计教育服务中心”。主要任务是 IC 设计人才培养和组织 MPW 服务。1997~1999 年组织了 6 次 MPW 流片。2000~2001 年上海市科委设立“上海多项目晶圆支援计划”,把开展 MPW 列为国家集成电路设计上海产业化基地的重点工作。在市科委组织下,复旦大学专用集成电路与系统国家重点实验

室与 ICC 实现强强联合,面向全国,于 2000 年组织了 3 次、2001 年组织了 5 次 MPW 流片。ICC 于 2001 年底正式与 TSMC 达成合作协议,开展 0.35  $\mu\text{m}$  MPW 流片服务。2002 年与中芯国际集成电路制造(上海)有限公司(SMIC)合作推出本土 0.35  $\mu\text{m}$  及以下工艺的 MPW 流片服务。从 ICC 设立的网站(<http://www.icc.sh.cn>)可了解 MPW 最新动态和几乎所有的 MPW 服务信息。

#### 4.2 南京东南大学射频与光电子集成电路研究所

1998 年,南京东南大学射光所以境外教育机构的身份正式加入美国 MOSIS,并签订有关协议,由此可获得多种工艺流片服务。2000 年 5 月与法国的 CMP 签订了合作协议。1999 年底受教育部委托,举办了“无生产线集成电路设计技术”高级研讨班。从 2000 年开始建立了 MPW 服务网页,通过网页向公众公布流片时间及加入 MPW 的流程和手续,目前,高速数字射频和光电芯片测试系统已开始运行,准备为全国超高速数字、射频和光电芯片研究提供技术支持,有许多高校、研究单位、公司已成为射光所 MPW 成员。

#### 4.3 国家集成电路设计产业化(北京)基地 MPW 加工服务中心

在北京市政府的支持与直接参与下建立了“北京集成电路设计园有限责任公司”。正在建设中的国家集成电路设计产业化(北京)基地 MPW 加工服务中心由北京华兴微电子有限公司为承担单位,联合清华大学、北京大学共同建设。

#### 4.4 北方微电子产业基地 TSMC MPW 技术服务中心

北京大学微处理器研究开发中心(MPRC)与台湾积体电路制造股份有限公司(TSMC)合作开展面向大陆地区的 MPW 服务,2001 年受北方微电子产业基地领导小组办公室委托,正式成为面向 TSMC 的目标工艺为 0.25  $\mu\text{m}$  以下的 MPW 服务中心。目前,MPRC 与大陆清华大学、浙江大学、台湾新竹清华大学、新竹交通大学、美国加利福尼亚大学洛杉矶分校(UCLA)、圣巴拉分校联合成立了“国际系统芯片研究中心”。在面向 TSMC 的 MPW 服务中,MPRC 与上海 IIC、浙江大学超大规模集成电路设计研究所、东南大学国家专用集成电路系统工程技术研究中心、哈尔滨工业大学微电子中心、上海集成电路设计研究中心、中国电子科技大学合作建立辐射全国的 MPW 服务网。截止到 2002 年 4 月已有 8 家 15

个设计项目正式选择 TSMC 0.25  $\mu\text{m}$  工艺的 MPW 服务。

## 5 中国大陆 IC 产业的未来

### 5.1 抢占国内市场份额

上半世纪 90 年代,一种无加工线(Fabless)的 IC 设计模式在美国蓬勃兴起。许多 IC 设计公司和著名的代工厂(Foundry)如 TSMC、UMC 进行了成功的合作,Xilinx 和 Altera 就是其中的典范。2000 年中国大陆市场消费的 150 亿美元的集成电路中,只有 7%为中国大陆制造,而未来 5 年中,中国大陆将有 10 条先进的晶圆生产线建成。因此,产生了 IC 设计与生产线能力的巨大矛盾。可喜的是,国际上为解决这一矛盾探索了许多成功的经验,并建立了许多国际性的服务机构。我国许多高校、研究机构介入其中也取得了宝贵的经验。目前,大陆建设的晶圆生产线工艺可以满足当前大多数高产量的消费类、通信类集成电路要求,只要抓住当前机遇,充分利用境外可以获得的一切 MPW 服务资源,大力培育本土 MPW 技术平台,抢占国内市场份额是大有希望的。

### 5.2 努力赶上世界先进水平

目前,随着国际上 IC 产业的迅速膨胀,一些先进的服务机构和技术平台也逐渐向我国大陆开放,加上政府的大力倡导与支持,如果能遵循 IC 产业发展规律,充分利用一切可利用的先进技术和 Service 管理模式,就有可能以最短的时间赶上世界先进水平。

① 走 MPW 平台捷径:MPW 服务机构运作方式已很成熟,这里有成熟的工艺、低廉的成本、经过实践验证的 IP 和经验丰富的 MPW 供应商,可以在较高的基础上起步。

② 力争世界级 SoC IP 平台技术支持,包括工艺完美的设计、良好的 EDA 工具和 IP 库、先进的代工厂支持、丰富的验证实例以及 SoC IP 平台免费或廉价使用。例如,北京大学的 MPRC 已与美国著名的工艺库提供商 Artisan 达成协议,MPRC 作为国内 Artisan 面向 TSMC 0.25  $\mu\text{m}$  以下的工艺库提供者,将无偿为大陆地区的设计人员服务。目前,MPRC 已获得该公司提供的 TSMC 0.25  $\mu\text{m}$  服务和 0.18  $\mu\text{m}$  的完备工艺库和相应的存储器生成器,可向大陆地区提供全程服务。

### 5.3 中小企业迅速融入 MPW 服务

上海矽创微电子有限公司是一家依靠 MPW 服务取得成功的小型企业。原先以 0.6  $\mu\text{m}$  CMOS 工艺

流片的费用为 20 万元人民币,其改版的重新流片费用也 10 万元以上。2001 年 3 月通过上海 MPW 支援单位——上海集成电路设计研究中心(ICC),一次投了 4 种样片,总共花费不超过 5 万元。目前他们已累计参加 ICC 组织的 3 批 MPW 服务,共试制了 9 种芯片,其中 5 个用于试制 MCU 开发版芯片,2 个用于实际产品,1 个用于验证模块,1 个用于小批量生产,每个芯片都达到了预期效果。同时,企业可以通

过低廉的 MPW 方式形成企业的 IP 库,进一步降低 IC 设计的风险性。

我国嵌入式系统产业中,有许多中小企业,不乏有出众的应用系统设计人才,借助 MPW 服务平台,以 SoC 模式,迅速提高我国嵌入式系统应用开发水平。

本文参考《中国集成电路》2002 年第 6 期 MPW 专辑综合而成。

## 嵌入式系统关键技术分析与开发应用

东 南 大 学 夏 玮 玮 沈 连 丰  
南京东大移动互联技术有限公司 肖 捷 毛 宇 斌

**摘 要** 基于嵌入式系统的概念,阐述嵌入式系统的关键技术、嵌入式开发以及广泛的应用。首先,分析嵌入式系统的技术特点,分别从嵌入式处理器和嵌入式操作系统两方面介绍,着重说明它不同于其它操作系统的一些处理方法和过程;在此基础上阐述嵌入式软件的开发过程,并结合作者嵌入式软件开发的实践,着重阐述嵌入式软件的一些开发技巧。接着,介绍目前嵌入式系统一些流行的应用,以及南京东大移动互联技术有限公司自行研制的基于蓝牙技术的嵌入式产品。最后,给出作者的体会,展望嵌入式系统的前景。

**关键词** 嵌入式系统 嵌入式处理器 微内核 内存管理单元 蓝牙系统

### 引 言

在当前数字信息技术和网络技术高速发展的后 PC(Post-PC)时代,嵌入式系统已经广泛地渗透到科学研究、工程设计、军事技术、各类产业和商业文化艺术以及人们的日常生活等方面中。随着国内外各种嵌入式产品的进一步开发和推广,嵌入式技术越来越和人们的生活紧密结合。

1970 年左右出现了嵌入式系统的概念,此时的嵌入式系统很多都不采用操作系统,它们只是为了实现某个控制功能,使用一个简单的循环控制对外界的控制请求进行处理。当应用系统越来越复杂、利用的范围越来越广泛的时候,每添加一项新的功能,都可能需要从头开始设计。没有操作系统已成为一个最大的缺点了。

C 语言的出现使操作系统开发变得简单。从上世纪 80 年代开始,出现了各种各样的商用嵌入式操作系统百家争鸣的局面,比较著名的有 VxWorks、pSOS 和 Windows CE 等等,这些操作系统大部分是为专有系统而开发的。另外,源代码开放的嵌入式 Linux,由于其强大的网络功能和低成本,近来也得到了越来越多的应用。

### 1 嵌入式系统的技术特点

嵌入式系统通常包括构成软件的基本运行环境的硬件和操作系统两部分。嵌入式系统的运行环境和应用场合决定了嵌入式系统具有区别于其它操作系统的一些特点。

#### (1) 嵌入式处理器

嵌入式处理器可以分为三类:嵌入式微处理器、嵌入式微控制器、嵌入式 DSP(Digital Signal Processor)。嵌入式微处理器就是和通用计算机的微处理器对应的 CPU。在应用中,一般是将微处理器装配在专门设计的电路板上,在母板上只保留和嵌入式相关的功能即可,这样可以满足嵌入式系统体积小和功耗低的要求。目前的嵌入式处理器主要包括:PowerPC、Motorola 68000、ARM 系列等等。

嵌入式微控制器又称为单片机,它将 CPU、存储器(少量的 RAM、ROM 或两者都有)和其它外设封装在同一片集成电路里。常见的有 8051。

嵌入式 DSP 专门用来对离散时间信号进行极快的处理计算,提高编译效率和执行速度。在数字滤波、FFT、谱分析、图像处理的分析等领域,DSP 正在大量进入嵌入式市场。

### (2) 微内核结构

大多数操作系统至少被划分为内核层和应用层两个层次。内核只提供基本的功能,如建立和管理进程、提供文件系统、管理设备等,这些功能以系统调用方式提供给用户。一些桌面操作系统,如 Windows、Linux 等,将许多功能引入内核,操作系统的内核变得越来越大。内核变大使得占用的资源增多,剪裁起来很麻烦。

大多数嵌入式操作系统采用了微内核结构,内核只提供基本的功能,比如:任务的调度、任务之间的通信与同步、内存管理、时钟管理等。其它的应用组件,比如网络功能、文件系统、GUI 系统等均工作在用户态,以系统进程或函数调用的方式工作。因而系统都是可裁减的,用户可以根据自己的需要选用相应的组件。

### (3) 任务调度

在嵌入式系统中,任务即线程。大多数的嵌入式操作系统支持多任务。多任务运行的实现实际是靠 CPU 在多个任务之间切换、调度。每个任务都有其优先级,不同的任务优先级可能相同也可能不同。任务的调度有三种方式:可抢占式调度、不可抢占式调度和时间片轮转调度。不可抢占式调度是指,一个任务一旦获得 CPU 就独占 CPU 运行,除非由于某种原因,它决定放弃 CPU 的使用权;可抢占式调度是基于任务优先级的,当前正在运行的任务可以随时让位给优先级更高的处于就绪态的其它任务;当两个或两个以上任务有同样的优先级,不同任务轮转地使用 CPU,直到系统分配的 CPU 时间片用完,这就是时间片轮转调度。

目前,大多数嵌入式操作系统对不同优先级的任务采用基于优先级的抢占式调度法,对相同优先级的任务则采用时间片轮转调度法。

### (4) 硬实时和软实时

有些嵌入式系统对时间的要求较高,称之为实时系统。有两种类型的实时系统:硬实时系统和软实时系统。软实时系统并不要求限定某一任务必须在一定的时间内完成,只要求各任务运行得越快越好;硬实时系统对系统响应时间有严格要求,一旦系统响应时间不能满足,就可能引起系统崩溃或致命的错误,一般在工业控制中应用较多。

### (5) 内存管理

针对有内存管理单元(MMU)的处理器设计的一些桌面操作系统,如 Windows、Linux,使用了虚拟存储器的概念。虚拟内存地址被送到 MMU。在这里,虚拟地址被映射为物理地址,实际存储器被分割为相同大小的页面,采用分页的方式载入进程。一个

程序在运行之前,没有必要全部装入内存,而是仅将那些当前要运行的部分页面装入内存运行。

大多数嵌入式系统针对没有 MMU 的处理器设计,不能使用处理器的虚拟内存管理技术,采用的是实存储器管理策略。因而对于内存的访问是直接的,它对地址的访问不需要经过 MMU,而是直接送到地址线上输出,所有程序中访问的地址都是实际的物理地址;而且,大多数嵌入式操作系统对内存空间没有保护,各个进程实际上共享一个运行空间。一个进程在执行前,系统必须为它分配足够的连续地址空间,然后全部载入主存储器的连续空间。

由此可见,嵌入式系统的开发人员不得不参与系统的内存管理。从编译内核开始,开发人员必须告诉系统这块开发板到底拥有多少内存;在开发应用程序时,必须考虑内存的分配情况并关注应用程序需要运行空间的大小。另外,由于采用实存储器管理策略,用户程序同内核以及其它用户程序在一个地址空间,程序开发时要保证不侵犯其它程序的地址空间,以使得程序不至于破坏系统的正常工作,或导致其它程序的运行异常;因而,嵌入式系统的开发人员对软件中的一些内存操作要格外小心。

### (6) 内核加载方式

嵌入式操作系统内核可以在 Flash 上直接运行,也可以加载到内存中运行。Flash 的运行方式,是把内核的可执行映像烧写到 Flash 上,系统启动时从 Flash 的某个地址开始执行。这种方法实际上是很多嵌入式系统所采用的方法。内核加载方式是把内核的压缩文件存放在 Flash 上,系统启动时读取压缩文件在内存里解压,然后开始执行。这种方式相对复杂一些,但是运行速度可能更快,因为 RAM 的存取速率要比 Flash 高。

由于嵌入式系统的内存管理机制,嵌入式操作系统对用户程序采用静态链接的形式。在嵌入式系统中,应用程序和操作系统内核代码编译、链接生成一个二进制影像文件来运行。

## 2 嵌入式系统开发相关技术

相对于在 Windows 环境下的开发应用程序,嵌入式系统开发有着很多的不同。不同的硬件平台和操作系统带来了许多附加的开发复杂性。

### 2.1 嵌入式开发过程

在嵌入式开发过程中有宿主机和目标机的角色之分:宿主机是执行编译、链接、定址过程的计算机;目标机指运行嵌入式软件的硬件平台。首先须把应用程序转换成可以在目标机上运行的二进制代码。

这一过程包含三个步骤:编译、链接、定址。编译过程由交叉编译器实现。所谓交叉编译器就是运行在一个计算机平台上并为另一个平台产生代码的编译器。常用的交叉编译器有 GNU C/C++(gcc)。编译过程产生的所有目标文件被链接成一个目标文件,称为链接过程。定址过程会把物理存储器地址指定给目标文件的每个相对偏移处。该过程生成的文件就是可以在嵌入式平台上执行的二进制文件。

嵌入式开发过程中另一个重要的步骤是调试目标机上的应用程序。嵌入式调试采用交叉调试器,一般采用宿主机—目标机的调试方式,它们之间由串行口线或以太网或 BDM 线相连。交叉调试有任务级、源码级和汇编级的调试,调试时需将主机上的应用程序和操作系统内核下载到目标机的 RAM 中或直接烧录到目标机的 ROM 中。目标监控器是调试器对目标机上运行的应用程序进行控制的代理(Debugger Agent),事先被固化在目标机的 Flash、ROM 中,在目标机上电后自动启动,并等待宿主机方调试器发来的命令,配合调试器完成应用程序的下载、运行和基本的调试功能,将调试信息返回给宿主机。

## 2.2 向嵌入式平台移植软件

大部分嵌入式开发人员选用的软件开发模式是先在 PC 机上编写软件,再进行软件的移植工作。在 PC 机上编写软件时,要注意软件的可移植性,选用具有较高移植性的编程语言(如 C 语言),尽量少调用操作系统函数,注意屏蔽不同硬件平台带来的字节顺序、字节对齐等问题。以下是我们在移植协议栈过程中的一些体会。

### 2.2.1 字节顺序

字节顺序是指占内存多于一个字节类型的数据在内存中的存放顺序,通常有小端、大端两种字节顺序。小端字节序指低字节数据存放在内存低地址处,高字节数据存放在内存高地址处;大端字节序是高字节数据存放在低地址处,低字节数据存放在高地址处。基于 X86 平台的 PC 机是小端字节序的,而有的嵌入式平台则是大端字节序的。因而对 int、uint16、uint32 等多于 1 字节类型的数据,在这些嵌入式平台上应该变换其存储顺序。通常我们认为,在空中传输的字节顺序即网络字节序为标准顺序,考虑到与协议的一致以及与同类其它平台产品的互通,在程序中发数据包时,将主机字节序转换为网络字节序,收数据包处将网络字节序转换为主机字节序。

### 2.2.2 字节对齐

有的嵌入式处理器的寻址方式决定了在内存中

占 2 字节的 int16、uint16 等类型数据只能存放在偶数内存地址处,占 4 字节的 int32、uint32 等类型数据只能存放在 4 的整数倍的内存地址处;占 8 字节的类型数据只能存放在 8 的整数倍的内存地址处;而在内存中只占 1 字节的类型数据可以存放在任意地址处。由于这些限制,在这些平台上编程时有很大的不同。首先,结构体成员之间会有空洞,比如这样一个结构:

```
typedef struct test{
    char    a;
    uint16  b;
}TEST
```

结构 TEST 在单字节对齐的平台上占内存三个字节,而在以上所述的嵌入式平台上有可能占三个或四个字节,视成员 a 的存储地址而定。当 a 存储地址为偶数时,该结构占四个字节,在 a 与 b 之间存在一个字节空洞。对于通信双方都是对结构成员操作的,这种情况不会出错,但如果有一方是逐字节读取内容的(通信协议大都如此),就会错误地读到其它字节的内容。其次,若对内存中数据以强制类型转换的方式读取,字节对齐的不同会引起数据读取的错误。因为假如指针指在基数内存地址处,我们想取得占内存两个字节的数存放在 uint16 型的变量中,强制类型转换的结果是取得了该指针所指地址与前一地址处的数据,并没有按照我们的愿望取该指针所指地址与后一地址处的数据,这样就导致了数据读取的错误。

解决字节对齐有许多方法,比如可以在 GCC 的项目管理文件 Makefile 中增加编译选项——pack-struct;但这种方法只能去除结构中的空洞,并不能解决强制类型转换引起的错误。为了增强软件的可移植性以及和同类其它平台产品的互通性,我们在收数据包处增加了拆包的函数,发数据包处增加了组包的函数。这两个函数解决了字节序的问题,也解决了字节对齐的问题。即组包时根据参数中的格式字符串将内存中的不同数据类型的某段数据放在指定地址处,组成包发给下层;拆包时,根据参数中的格式字符串将收到的内存中的数据存放在不同类型的变量或结构成员中。在函数中针对不同的数据类型作不同的处理。

### 2.2.3 位段

由于位段的空间分配方向因硬件平台的不同而不同,对 X86 平台,位段是从右向左分配的;而一些嵌入式平台,位段是从左向右分配的。分配顺序的不同导致了数据存取的错误。解决这一问题的一种方法是采用条件编译的方式,针对不同的平台定义顺序

不同的位段;也可以在前面所述的两个函数中加上对位段的处理。

#### 2.2.4 代码优化

嵌入式系统对应用软件的质量要求更高,因而在嵌入式开发中尤其须注意对代码进行优化,尽可能地提高代码的效率,减少代码的大小。虽然现代 C 和 C++ 编译器都提供了一定程度的代码优化,但大部分由编译器执行的优化技术仅涉及执行速度和代码大小的平衡,不可能使程序既快又小,因而必须在编写嵌入式软件时采取必要的措施。

##### (1) 提高代码的效率

① switch-case 语句。在程序中经常会使用 switch-case 语句,每一个由机器语言实现的测试和跳转仅仅是为了决定下一步要做什么,就浪费了处理器时间。为了提高速度,可以把具体的情况按照它们发生的相对频率排序。即把最可能发生的情况放在第一,最不可能发生的情况放在最后,这样会减少平均的代码执行时间。

② 全局变量。使用全局变量比向函数传递参数更加有效率,这样做去除了函数调用前参数入栈和函数完成后参数出栈的需要。当然,使用全局变量会对程序有一些副作用。

##### (2) 减小代码的大小

嵌入式系统编程应避免使用标准库例程,因为很多大的库例程设法处理所有可能的情况,所以占用了庞大的内存空间,因而应尽可能地减少使用标准库例程。

##### (3) 避免内存泄漏

用户内存空间(堆)为 RAM 中全局数据和任务堆栈空间都分配后的剩余空间,为了使程序能有足够的内存运行,必须在申请的内存不用后及时地将其释放,以确保再次申请时能有空间。如果程序中存在内存泄漏(即申请内存后没有及时释放)的情况,程序最终会因为没有足够的内存空间而无法运行。

### 3 嵌入式系统的广泛应用

嵌入式系统的应用前景是非常广泛的,人们将会无时无刻不接触到嵌入式产品,从家里的洗衣机、电冰箱,到作为交通工具的自行车、小汽车,到办公室里的远程会议系统等等。特别是以蓝牙为代表的小范围无线接入协议的出现,使嵌入式无线电的概念悄然兴起。当嵌入式的无线电芯片的价格可被接受时,它的应用可能会无所不在。在家中、办公室、公共场所,人们可能会使用数十片甚至更多这样的嵌入式无线电芯片,将一些电子信息设备甚至电气设备构成无线

网络;在车上、旅途中,人们利用这样的嵌入式无线电芯片可以实现远程办公、远程遥控,真正实现把网络随身携带。下面介绍几种具体的应用。

#### (1) 嵌入式移动数据库

所谓的移动数据库是支持移动计算的数据库,有两层含义:① 用户在移动的过程中可以联机访问数据库资源。② 用户可以带着数据库移动。典型的应用场合有在开着的救护车上查询最近的医院。该系统由前台移动终端、后台同步服务器组成,移动终端上有嵌入式实时操作系统和嵌入式数据库。中国人民大学正在开发该系统,他们和 Hopen 公司合作,开发了前台移动终端“小精灵”。

#### (2) 嵌入式系统在智能家居网络中的应用

智能家居网络(E-Home)指在一个家居中建立一个通信网络,为家庭信息提供必要的通路;在家庭网络操作系统的控制下,通过相应的硬件和执行机构,实现对所有家庭网络上家电和设备的控制和监测。其网络结构的组成必然有家庭网关。家庭网关主要实现控制网络和信息网络的信号综合并与外界接口,以便作远程控制和信息交换。不论是网关还是各家电上的控制模块,都需有嵌入式操作系统。这些操作系统必须具有内嵌式、实时性好、多用户的特点。南京东大移动互联技术有限公司研制的智能多媒体家庭网关,就是以嵌入式 Linux 作为该嵌入式设备的操作系统,设备之间的相互通信遵从蓝牙通信协议,可以支持多个设备同时接入到固定电话网、国际互联网等其它外部网络。

#### (3) 嵌入式语音芯片

嵌入式语音芯片基于嵌入式操作系统,采用语音识别和语音合成、语音学层次结构体系和文本处理模型等技术;可以应用在手持设备、智能家电等多个领域,赋予这些设备人性化的交互方式和便利的使用方法;也可应用于玩具中,实现声控玩具、仿真宠物、与人对话的玩具;也能应用于车载通信设备实现人机交流。该芯片应用在移动通信设备中,比如,手机上短消息来时,我们不必费力地去看,而是可以听到声音。

#### (4) 基于小范围无线通信协议的嵌入式产品

以蓝牙为代表的小范围无线接入协议与嵌入式系统的结合,必将推动嵌入式系统的广泛应用。近来,基于这些协议的嵌入式产品层出不穷,包括各种电话系统、无线公文包、各类数字电子设备以及在电子商务中的应用。这些产品以其微型化和低成本的特点为它们在家庭和办公室自动化、电子商务、工业控制、智能化建筑物和各种特殊场合的应用开辟了广阔的前景。

东南大学移动通信国家重点实验室以及依托实



实验室建立的南京东大移动互联技术有限公司,从1998年开始跟踪蓝牙技术,在香港特区政府创新科技基金、江苏省“十五”重大科技攻关以及国家“十五”科技攻关的资助下,先后设计和研制了多种基于蓝牙技术的嵌入式产品。其中包括符合 Bluetooth V1.1 标准的嵌入式 PSTN 网关和语音终端。它们基于蓝牙“三合一电话”应用模型,选用了中国科学院凯思吴鹏软件技术工程有限公司提供的 Hopen OS 作为嵌入式开发的软件平台,选用华邦的 W90221 作为硬件平台。语音终端能通过 PSTN 网关以无线的方式接入到 PSTN 网络中,实现和 PSTN 网用户的互通。还有符合 Bluetooth V1.1 标准的嵌入式局域网接入点,它基于蓝牙“局域网接入”应用模型,选用嵌入式 Linux 操作系统作为软件平台,选用 Motorola 公司的 CodeFire 5272 作为硬件平台。通过该接入点,终端用户可以自由地接入到 Internet,可以同时支持多个终端用户连接到 Internet。其它一些嵌入式产品包括智能多媒体家庭网关、远程抄表系统、信息家电等等。

## 结 语

以上重点介绍了嵌入式系统的特点、嵌入式产品的开发和应用。我们在开发过程中体会到:嵌入式系统开发和以前从事的开发工作实质上并无区别,唯一

改变的是每个硬件平台都是独特的,这一个不同点导致了許多附加的开发复杂性,因而,在嵌入式开发过程中要格外注意软件创建过程;而且,在开发嵌入式产品之前要对选用的嵌入式硬件平台有较多的了解,具备相应的硬件知识,和硬件工程师密切配合;在选用嵌入式操作系统和硬件平台时要根据所要开发的应用的需要以及成本等方面的考虑选择合适的系统和平台。

在科技快速发展的今天,嵌入式产品将会越来越多地被广泛应用。我们相信,只要遵循嵌入式产品的开发规律,适应市场的需求,就一定能开发出越来越多的嵌入式产品。

## 参考文献

- 1 Labrosse Jean J.  $\mu$ C/OS-II——源码公开的实时嵌入式操作系统. 邵贝贝译. 北京:中国电力出版社,2001
- 2 Kirk Zurell. 嵌入式系统的 C 程序设计. 艾克武等译. 北京:机械工业出版社,2001
- 3 Tanenbaum Andrew S, Woodhull Albert S. 操作系统:设计与实现. 第 2 版. 王鹏等译. 北京:电子工业出版社,1998
- 4 <http://www.embed.com.cn>
- 5 BSI. Specification of the Bluetooth System (Core) Version 1.1. <http://www.bluetooth.com>, 2000