

# 嵌入式系统及其开发应用概述

程保伟, 刘文珂 (解放军信息工程大学六系, 河南 郑州 450002)

**[摘要]** 阐述了嵌入式系统的发展现状和先进性; 介绍了嵌入式系统的微处理器, 包括嵌入式微处理器、嵌入式微控制器、嵌入式 DSP 处理器、嵌入式片上系统。介绍了嵌入式系统的开发过程和应注意的问题, 给出了嵌入式系统的几个应用。

**[主题词]** 嵌入式系统; 嵌入式处理器; 开发过程; 应用

**[中图分类号]** TP393

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1673-1409(2004)04-0077-04

嵌入式系统是以应用为中心, 以计算机技术为基础, 并且软硬件可裁剪, 适用于系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统。在嵌入式系统中, 操作系统和应用软件集成于计算机硬件系统中, 即软硬件一体化。它具有软件代码少、高度自动化、响应速度快等特点, 特别适合于要求实时和多任务处理的场合。

嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的。它的功耗、体积、成本、可靠性、速度、处理能力、电磁兼容性等方面均受到应用要求的制约; 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, 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。

嵌入式系统的发展主要体现在芯片技术的进步以及在芯片技术限制下的算法与软件的进步上。它是先进的计算机技术、半导体技术、电子技术和各行业的实际应用相结合的产物, 这就决定了它必然是一个技术密集、资金密集、高度分散、不断创新的知识集成系统。随着计算机技术的发展, 嵌入式系统的应用领域不断扩大。从航天飞机自动导航系统至移动电话、智能家电等诸多领域, 嵌入式系统都有着广泛的应用。本文从嵌入式系统硬件和软件的角度, 对嵌入式处理器和嵌入式系统开发作简要的介绍。

## 1 嵌入式系统的微处理器

嵌入式系统的核心部件是各种类型的嵌入式处理器。目前, 据不完全统计, 全世界嵌入式处理器的品种总量已经超过 1000 多种, 流行体系结构有 30 几个系列。嵌入式处理器的寻址空间一般从 16KB 到 16~32MB, 处理速度从 0.1MIPS 到 2000MIPS, 常用封装从 8 个引脚到 144 个引脚。根据其现状, 可将其分成下面几类加以讨论。

### 1.1 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器的基础是通用计算机中的 CPU。在应用中, 将微处理器装配在专门设计的电路板上, 只保留和嵌入式应用有关的功能, 这样可大幅度减小系统体积和功耗。为满足嵌入式应用的特殊要求, 嵌入式微处理器虽然在功能上和标准微处理器基本一样; 与工控机相比, 嵌入式微处理器具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高的优点, 但在电路板上必须包括 ROM、RAM、总线接口、外设等器件。嵌入式微处理器及其存储器、总线、外设等安装在一块电路板上, 称为单板机。如 STD-BUS、PC104 等。近年来, 德国、日本的一些公司又开发出了类似“火柴盒”式名片大小的嵌入式计算机系列 OEM 产品。

嵌入式微处理器目前主要有 Am186/88, 386EX, SC\_400, Power PC, 68000, MIPS, ARM 系列等。

### 1.2 嵌入式微控制器

嵌入式微控制器又称单片机, 它将整个计算机系统集成到一块芯片中。它一般以某一种微处理器内

**[收稿日期]** 2004-08-22

**[作者简介]** 程保伟(1966-), 男, 1989 年大学毕业, 副教授, 现主要从事通讯与计算机应用研究。

核为核心,芯片内部集成 ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、I/O、串行口、PWM 输出、A/D、D/A、FlashRAM、EEPROM 等必要功能和外设。微控制器是目前嵌入式系统工业的主流。微控制器的片上外设资源一般比较丰富,适合于控制,因此称微控制器。为适应不同的应用要求,一般一个系列的单片机具有多种衍生产品,每种衍生产品的处理器内核都是一样的,不同的是存储器 and 外设的配置和封装。这样可以使单片机最大限度地和应用需求相匹配,从而减少功耗和成本。和嵌入式微处理器相比,嵌入式微控制器的最大特点是单片化,体积大大减小。

嵌入式微控制器的品种和数量最多,比较有代表性的通用系列包括 8051, P51XA, MCS-251, MCS-96/196/296, C166/167, MC68HC05/11/12/16, 68300 等。

### 1.3 嵌入式 DSP (数字信号处理器)

DSP 处理器对系统结构和指令进行了特殊设计,使其适合于执行 DSP 算法,编译效率较高,指令执行速度也较高。在数字滤波、FFT、谱分析等方面正在大量进入嵌入式领域。

嵌入式 DSP 处理器有两个发展来源:一个是 DSP 处理器经过单片化、EMC 改造、增加片上外设成为嵌入式 DSP 处理器, TI 的 TMS320C2000/C5000 等属于此范畴;二是在通用单片机或 SOC 中增加 DSP 协处理器,例如 Intel 的 MCS-296 和 Siemens 的 Tricore。推动嵌入式 DSP 处理器发展的另一个因素是嵌入式系统的智能化,例如各种带有智能逻辑的消费类产品、生物信息识别终端、实时语音解压系统等等。这类智能化算法一般都运算量较大,特别是向量运算、指针线性寻址等较多,而这些正是 DSP 处理器的长处所在。

嵌入式 DSP 处理器较有代表性产品是 Motorola 的 DSP6000 系列和 Texas Instruments 的 TMS320 系列。PHIIPS 公司也推出了低成本、低功耗的 R. E. A. L DSP 处理器,特点是具备双 Harvard 结构和双乘/累加单元,应用目标是开发大批量消费类产品。

### 1.4 嵌入式片上系统

随着 EDA 的推广和 VLSI 设计的普及化,以及半导体工艺的迅速发展,在一个硅片上实现一个更为复杂的系统的时代已来临,这就是 SOC (System On Chip)。各种通用处理器内核将作为 SOC 公司的标准库,和许多其他嵌入式系统外设一样,成为 VLSI 设计中一种标准的器件,用标准的 VHDL 等语言描述,存储在器件库中。用户只需定义出其整个应用系统,仿真后就可以将设计图交给半导体工厂制作样品。这样除个别无法集成的器件外,整个嵌入式系统大部分均可集成到一块或几块芯片中去,应用系统电路板将变得更简洁,对于减小体积和功耗、提高可靠性都非常有利。

SOC 可分为通用和专用两类。通用系列包括 Siemens 的 TriCore, Motorola 的 M-Core, 某些 ARM 系列器件, Echelon 和 Motorola 联合研制的 Neuron 芯片等。专用 SOC 一般专用于某个或某类系统中。一个有代表性的产品是 Philips 的 Smart XA, 它将 XA 单片机内核和支持超过 2048 位复杂 RSA 算法的 CPU 单元制作在一块硅片上,形成一个可加载 JAVA 和 C 语言的专用的 SOC,可用于公众互联网如 Internet 的安全方面。

## 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 嵌入式系统的开发过程

在嵌入式系统的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。首先需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 3 个步骤:编译、链接、定址。编译过程由交叉编译器实现<sup>[1]</sup>。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。

嵌入式系统的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。嵌入式系统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, 调试时需将宿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

大部分嵌入式系统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。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。

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; 大端字节序是指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<sup>[2]</sup>。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, 在空中传输的字节顺序即网络字节序为标准顺序, 考虑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, 可以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) 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, 例如这样一个结构: typedef struct test {char a; uint16 b;} TEST, 结构 TEST 在单字节对齐的平台上占内存 3 个字节, 而在以上所述的嵌入式平台上有可能占 3 个或 4 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 4 个字节, 在 a 与 b 之间存在 1 个字节的空洞。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。因为假如指针指在奇数内存地址处, 要取得占内存两个字节的 data 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 data, 并没有取该指针所指地址与后一地址处的 data, 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<sup>[3]</sup>; 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, 可以在收数据包处增加拆包的函数, 发数据包处增加组包的函数。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 data 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 data 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。

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 data 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。

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需注意对 code 进行优化, 尽可能地提高 code 的效率, 减少 code 的大小<sup>[4]</sup>。虽然现在 C 和 C++ 编译器都提供了一定程度的 code 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 code 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。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。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。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。

用户内存空间(堆)指为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, 到作为交通工具的小汽车、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。下面介绍几种具体的应用。

1) 嵌入式移动数据库 所谓移动数据库是指支持移动计算的数据库, 有两层含义: 用户在移动的过程中可以联机访问数据库资源; 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。

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。

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, 手机短消息到达时, 可以直接听到声音。

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其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。

### 4 结 语

嵌入式系统和其他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, 这一不同点导致了許多附加的开发复杂性, 因而, 在嵌入式系统的开发过程中要格外注意软件创建过程; 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; 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需要以及成本等方面的考虑选择合适的系统和平台。

#### [参考文献]

- [1] Labrosse J J.  $\mu$ C/OS-II 一源码公开的实时嵌入式操作系统 [M]. 邵贝贝译. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [2] 许汝峰. 32 位嵌入式系统编程 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [3] Kirk Zurell. 嵌入式系统的 C 程序设计 [M]. 艾克武等译. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [4] Tanenbaum A S, Woodhull A S. 操作系统: 设计与实现 [M]. 第 2 版. 王鹏等译. 北京: 电子工业出版社, 1998.

[编辑] 萧 雨

**Subject terms:** single-chip computer; serial port; serial communication; functional wave form

**69 Principles of Infrared Interface and Circuit Design**

**WU Hong-tao** (*Yangtze University, Jingzhou 434023*)

**Abstract:** Through analyzing the principles of data transmission of an infrared communication interface, a simple and applicable interface circuit of infrared data transmission is designed, which can be matched with common computers, a bi-directional data transmission can be implemented with handset under Windows XP operation system, its performance is stable with high application value.

**Subject terms:** infrared interface; data transmission; communication technology; amplifier; circuit design

**71 Application of Simulated Software Multisim in Electronic Circuit Design**

**FANG Liang, WU Wen-quan, SONG Sheng-feng** (*Naval University of Engineering, Wuhan 430033*)

**Abstract:** The functions and advantages of an electronic simulated software Multisim are introduced. From teaching practice, Multisim is used for simulation and electronic experiments, from which a teaching rule of theory and in combination with practice is found out, thus to promote the students' initiatives and enthusiasm of studying the relevant courses and improve their abilities for analyzing and resolving the problems.

**Subject terms:** Multisim; CAI; electronic circuits; simulated design; software

**74 Application of Soft-switching in Communication Networks**

**CHEN Shuang** (*Meteorological Agency of Henan Province, Zhengzhou 450002*)

**LIU Ken-ke, JIN Liang** (*PLA University of Information and Engineering, Zhengzhou 450002*)

**Abstract:** The functions of each layer of a 4 layer structure are introduced for next generation networks (NGN), the concept of a soft-switching technique is given, the major functions are analyzed for the soft-switching technique, which is the key equipment for the combination of new and old networks. The inevitability of soft-switching is described and the location of soft-switching in the networks of next generation is analyzed, strategies and suggestions for using the technique are proposed.

**Subject terms:** soft-switching; networks of next generation; network combination

**77 Embedded System and Its Development and Application**

**CHENG Bao-wei, LIU Wen-ke** (*PLA University of Information and Engineering, Zhengzhou 450002*)

**Abstract:** The development and advantages of an embedded system are described; a micro-processor of the system is introduced, which includes an embedded microprocessor, embedded microcontroller, embedded DSP and a on-chip system. The process of the system development and problems that shall be cared for are introduced and the application of the system is also given.

**Subject terms:** embedded system; embedded processor; development process; application

**81 Research on A Unified Message System**

**ZHONG Bao-rong** (*Yangtze University, Jingzhou 434023*)

**JIN Xin, DAI Zheng-ning** (*Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 410000*)

**Abstract:** A unified message system is an inevitable requirement after the communication industry is developed. The structure and method for creating a unified message system by using IP gateway, e-mail servers and database servers, in which core modules are analyzed in detail.

**Subject terms:** unified message; gateway; e-mail server