

# 嵌入式系统及其实时软件的开发

令晓明, 范多旺

(兰州交通大学 光电技术与智能控制教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:**阐述了嵌入式系统的概念、特点及应用, 并对其软硬件系统、实时软件开发技术进行了详细叙述, 对嵌入式 CPU 各种类型及代表产品的进行了比较说明; 提出了嵌入式系统的模型、嵌入式实时软件的开发过程和方法; 针对目前嵌入式系统的发展现状, 论述了嵌入式系统的发展动向。

**关键词:**嵌入式系统; 嵌入式 CPU; 嵌入式实时软件开发; 嵌入式发展趋势

**中图分类号:** TP393.4

随着现代信息技术和 Internet 技术的飞速发展, 各种各样的数字化产品得到普及; 嵌入式系统已经渗透于现代生活的各个角落——手机、微波炉、取款机、智能玩具、电子商务、工控设备、通信设备、医疗器械、航天航空、军事装备等等。嵌入式系统有着广泛的应用前景和发展潜力, 嵌入式系统技术已经成了最热门的技术之一。

## 1 嵌入式系统

嵌入式系统(Embedded System), 一般是指嵌入到对象体系中执行专用功能的计算机系统。嵌入式系统诞生于微型机时代, 其嵌入性的本质是将一个计算机嵌入到一个对象体系中去; 对象系统则是指嵌入式系统所嵌入的宿主系统。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。嵌入式系统通常由嵌入式硬件和软件两部分组成。一个简单的嵌入式系统可以由微控制器或单片机及嵌入式软件组成。

### 1.1 嵌入式系统的特点

通过嵌入式系统的定义, 可知一个嵌入式系统, 应该满足的三个基本要素, 即“嵌入性”、“专用性”与“计算机系统”。它与通用计算机系统相比, 一般具有以下的特点。

**实时性要求。**许多嵌入式系统对系统响应时间有要求, 其软件和硬件设计必须满足实时性, 以保证系统在允许的时间内完成任务;

**系统体积小、功能专业化。**

**软件的固化特性。**

### 1.2 嵌入式软件

嵌入式软件(Embedded Software)包括指嵌入式操作系统和嵌入式应用软件。因嵌入式软件一般对实时性的要求较高, 也称其为嵌入式实时软件(Embedded Real-Time Software)。它是实现嵌入式系统功能的关键。在简单的应用场合下, 嵌入式应用软件不需要专门的操作系统, 但有些需要嵌入式实时操作系统的支持。当前, 常用实时操作系统具有代表性的产品主要是 VxWorks, pSOS, Palm OS, Windows CE 及嵌入式 Linux 等。嵌入式应用软件是针对特定的实际专业领域的, 基于相应的嵌入式硬件平台的, 并能完成用户预期任务的计算机软件。它与普通的计算机应用软件有一定的区别。用户的任务一般有时和精度的严格要求, 这就使得嵌入式应用软件必须保证高实时性、准确性、安全性、稳定性和抗干扰性, 而且还要尽可能地优化。

### 1.3 嵌入式硬件及其开发

嵌入式硬件(Embedded Hardware)主要包括嵌入式处理器及其外围设备。

嵌入式硬件系统的核心部件是各种类型的嵌入式处理器。当前嵌入式系统处理器的发展趋势主要是采用 32 位嵌入式 CPU, 其主流系列有 ARM(包括 Intel 公司的 strong ARM 和 XScale)、MIPS 和 SH 三大系列。

嵌入式系统 CPU 的另一类型为嵌入式微控制器(MCU, Microcontroller Unit)和嵌入式 DSP 处理器。与嵌入式微处理器相比, MCU 的最大特点是单片化, 体积大大减小, 功耗和成本下降、可靠性提高。嵌入式微控制器目前的品种和数量最多, 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。嵌入式 DSP 处理器的一类是经过单片化、EMC 改造、增加片上外设成为嵌入式 DSP 处理器,如 TI 公司的 TMS320 系列和 Motorola 的 DSP56000 系列;一类是在通用单片机或 SOC 中增加 DSP 协处理器,例如 Intel 的 MCS - 296 和 Infineon (Siemens) 的 TriCore。嵌入式系统的智能化是推动嵌入式 DSP 处理器发展的其中一个因素,这类智能化算法一般都是运算量较大,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。

还有一类嵌入式系统 CPU 类型是选用嵌入式片上系统 SOC (System On a Chip)。随着 EDI 的推广和 VLSI 设计的普及化,及半导体工艺的迅速发展,在一个硅片上即可实现一个更为复杂的系统,这就是 SOC 及可编程片上系统 SOPC (System On a Programmable Chip)。这样除个别无法集成的器件以外,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很简洁,对于减小体积和功耗、提高可靠性非常有利。

嵌入式系统硬件开发的就是要为嵌入式软件提供一个运行载体。可采用电子产品设计方法来开发。与传统的设计比较,在现代电子产品设计中,可以大量使用可编程逻辑器件 (PLD) 来提高产品性能、减低消耗;电子设计自动化 (EDA) 技术以大规模可编程逻辑器件为设计载体,以硬件描述语言 (HDL) 为主要表达方式,以相应的开发软件为工具,用软件方式自动地完成逻辑编译、化简、分割、综合及优化、布局布线、仿真以及对于特定目标芯片的适配编译和编程下载工作,最终形成专用的集成芯片。由于电子设计自动化 (EDA) 技术水平不断提高,嵌入式硬件的开发周期大大缩短,产品质量也不断的得以提高。

## 2 嵌入式实时软件的开发

嵌入式实时软件是应用程序和操作系统两种软件的一体化程序。在嵌入式实时系统中,应用程序和操作系统两种软件界限并不明显。这是因为,不同的应用系统配置差别较大,所需操作系统繁简不一,IO 操作也不标准,这部分驱动软件常常由应用程序提供。这就要求采用不同配置的操作系统和应用程序链接装配成统一的运行软件系统。所以,嵌入式实时软件的开发应该在系统总设计目标的指导下将它们综合加以考虑、设计与实现。

### 2.1 嵌入式实时系统的模型

嵌入式实时软件 (ERS) 的主要特点是其必须在规定的时间内完成相应的控制功能。嵌入式实时系统的模型如图 1 所示。该系统由 4 个部分组成:被控制对象、传感部件、控制部件和嵌入式实时软件。传感部件从被控制对象中获取被监测的信息,并将这些信息作为输入传送给嵌入式实时软件,该软件根据输入进行相应的处理,并将处理结果作为控制信息传送给控制部件,控制部件发出控制命令以控制被控制对象的动作。嵌入式实时软件 (ERS) 是需开发的部分。

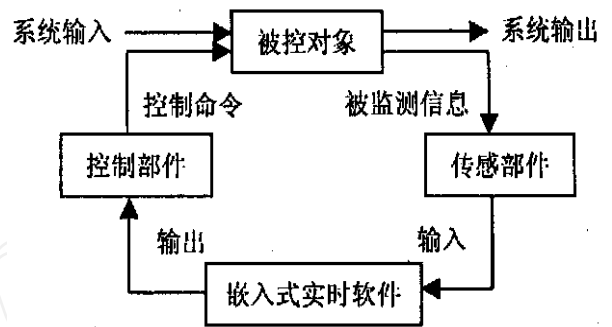


图 1 嵌入式实时系统模型

### 2.2 嵌入式实时软件的交叉开发环境

嵌入式实时软件的开发需要独立的开发平台。由于嵌入式实时应用系统的软件开发受到时间、空间开销的限制,常常需要在专门的开发平台上进行软件的交叉开发,其交叉开发环境如图 2 所示。



图 2 交叉开发环境

开发平台称为宿主机,应用系统称作目标机。宿主机可以是与目标机相同或不相同的机型,这种不同机型的开发平台又称作交叉式开发系统。显然在这种独立的实时软件开发系统上应配备完整的实时软件开发的工具,如高级语言编译器 (C/C++ 语言等)、ROM 仿真器 (ROM Emulator)、芯片仿真器 (On Chip Emulator) 和在线仿真器 (In-Circuit Emulator) 等。

另外,尽量用可移植性好的高级语言开发而少用汇编语言,可以提高应用软件的可移植性。嵌入式软件中汇编语言的使用是必(下转第 73 页)

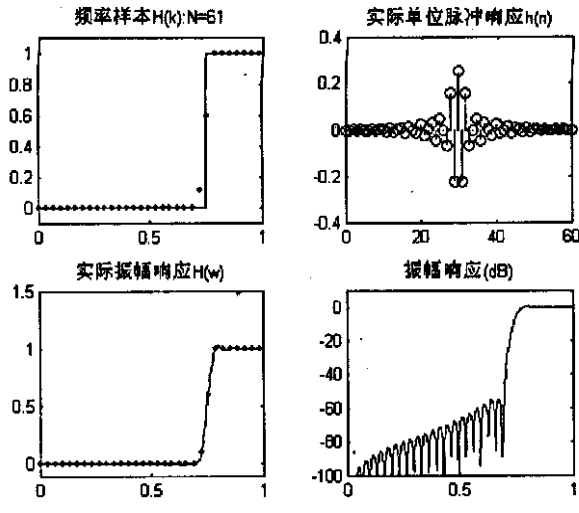


图 2 频率采样法设计低通滤波器 (N = 61)

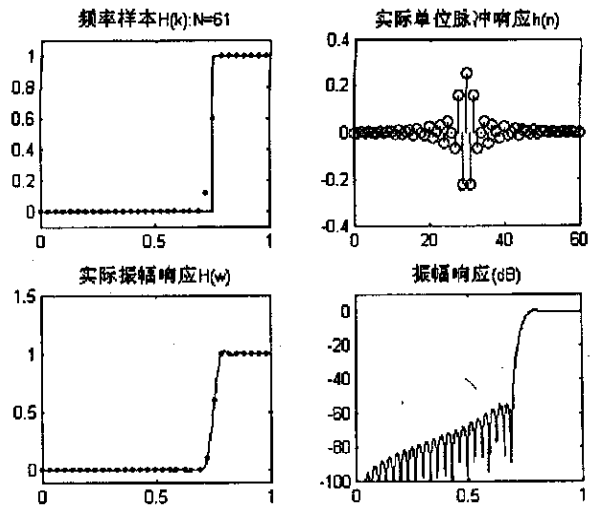


图 3 加过度点的频率采样法设计低通滤波器 (1 型)

### 3 结束语

从时域角度来看,如果设计的频率响应为  $H_d(e^{j\omega})$ ,对应的单位脉冲响应为  $h_d(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H_d(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega$ 。在频域等间隔采样  $N$  点,利用 IDFT 得到的  $h(n)$  是  $h_d(n)$  以  $N$  为周期的周期性延拓  $h(n) = \sum_{r=-\infty}^{\infty} h_d(n + rN) R_N(n)$ 。如果  $H_d(e^{j\omega})$  有间断点,那么  $h_d(n)$  应是无限长的,这样一来由于时域混叠,引起所设计的  $h(n)$  和  $h_d(n)$  有偏差,为此在频域的采样点数  $N$  应加大, $N$  越大设计出的滤波器越逼近待设计的滤波器  $H_d(e^{j\omega})$ 。从频域角度来看  $H(e^{j\omega}) = \sum_{k=0}^{N-1} H(k) \phi(\omega - \frac{2\pi}{N}k)$ ,表明在采样点上  $H(e^{j\omega})$  和  $H(k)$  相等,逼近误差为零。在采样点之间其误差和  $H_d(e^{j\omega})$  特性的平滑程度有关,特性越平滑误差越小,

采样点数越大,误差越小。因此,为改善滤波器的特性,可以对频率间断点附近插入一个或几个过度采样点,适当增加采样点数。

#### 参考文献:

- [1] 程佩青. 数字信号处理教程 [M]. 北京:清华大学出版社,2001.
- [2] 胡广书. 数字信号处理--理论、算法与实现 [M]北京:清华大学出版社,2001.
- [3] M. H. 海因斯 著. 数字信号处理 [M]张建华 译:科学出版社,2002.
- [4] [美] John G. Proakis Digital Communications (Third Edition) [M]北京:电子工业出版社,2002.
- [5] 徐守时. 信号与系——理论、方法和应用 [M]合肥:中国科学技术出版社,1999.
- [6] 赵红怡. 数字信号处理及其 MATLAB 实现 [M]北京:化学工业出版社,2002.

(上接第 62 页)不可少的。对一些反复运行的代码,使用高效、简捷的汇编能大大减少程序的运行时间。但是汇编语言是高度不可移植的,尽可能少地使用汇编语言,而改用移植性好的高级语言(如 C 语言等)进行开发,能有效地提高应用软件的移植性,使产品的升级和继承更迅速。现在的高级语言编译器都提供灵活、高效的选项,可以适应开发人员特殊的编程和调试需求。

从国际上来看,当前现代软件技术的发展已经进入自动化、图形化开发阶段。图形化嵌入式软件开发平台已经问世,如德国的 Blue River 公司的 V32、E32、X32 和 O32 开发平台。用户通过功能强大的系统级图

形化软件开发工具对所开发的项目进行描述,建立整套系统的模型。因此,只要建立起正确的系统模型,利用好的图形化开发工具就可以根据该模型生成 C/C++/Java 语言的源代码,提供完善的系统流程图、标准化的软件说明文档,甚至可对系统功能进行模拟仿真,从而极大地提高了软件产品的开发效率。

#### 参考文献:

- [1] 魏忠 蔡勇,雷红卫. 嵌入式开发详解 [M]. 北京:电子工业出版社,2003
- [2] 桑楠. 嵌入式系统原理及应用开发技术 [M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2002
- [3] 嵌入式系统开发圣经. 探砂工作室,中国青年出版社,2002