



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

嵌入式微处理器

原理、系统设计与应用

张培仁 主编
孙轶 蒋海峰 赵松 编著

μ 'nSPTM
Microcontroller and
Signal Processor



清华大学出版社

► 普通高等教育“十一五”国家级规划教材

嵌入式微处理器 原理、系统设计与应用

张培仁 主编

孙 轶 蒋海峰 赵 松 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 提 要

本书较详细地介绍了有关嵌入式微处理系统, 全书共分13章, 包括嵌入式系统中所使用的芯片性能、结构以及编程和接口设计, 实时操作系统, 编程语言, 存储器, 现场总线, 低功耗系统, 抗干扰技术等。本书是作者多年从事科研和教学的经验总结, 对从事嵌入式系统设计和应用的读者具有极好的参考价值。

本书层次清晰, 且有大量图例, 可作为高校理工科学生的教学用书, 也可供一般工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

嵌入式微处理器原理、系统设计与应用/张培仁主编; 孙轶, 蒋海峰, 赵松编著.

—北京: 清华大学出版社, 2007

ISBN 978-7-302-14372-7

I. 嵌… II. ①张… ②孙… ③蒋… ④赵… III. 微处理器—

系统设计 IV. TP332

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 162153 号

责任编辑: 周烈强

责任校对: 王 华

责任印制: 科 海

出版发行: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编: 100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机: 010-62770175

邮购热线: 010-62786544

投稿咨询: 010-62772015

客户服务: 010-62776969

印 装 者: 北京市鑫山源印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印 张: 24.25

字 数: 590 千字

版 次: 2007 年 2 月第 1 版

印 次: 2007 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 1~5 000

定 价: 39.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题, 请与清华大学出版社出版部联系
调换。联系电话: (010) 82896445 产品编号: 022786-01

前 言

嵌入式系统近10年来飞快发展，微控制器、微处理器、数字信号处理器（DSP）都有长足进步，各种系列的嵌入式系统已经有上千种之多。嵌入式系统已从科学家的实验室快速走向社会各个角落，走入社会上每个家庭。不论是通讯设备、计算机、手机、机电一体化设施、工业自动化智能设备、智能传感器，还是数码照相机、数码摄像机、VCD、DVD等各种音像设备，都有它的身影。

我们实验室从事嵌入式系统的科研和教学已经有30余年历史，具有较丰富的经验。为了从众多嵌入式微处理器中找到它们共同的性能、特点，从而使相关专业的大学生、工程技术人员对它的理论基础、关键技术、解决方法、发展方向、使用时应该注意的问题等有一个清晰的认识，我们集合本实验室各方力量，共同完成了本书的编著。本书由张培仁教授策划、主编、审查，并进行了全面校正。

张培仁执笔第1章、第3章、第9章、第10章第10.1节，孙轶执笔第8章，蒋海峰执笔第10章第10.2节和第13章，陈云鹏和高修峰执笔第2章，王康正执笔第7章，赵松执笔第12章，张志坚执笔第6章，郑艳霞执笔第10章第10.3节和第11章，潘可执笔第4章，段雄执笔第5章，本书在编写过程中还得到了赵鹏、邓超、张华宾等人的协助。段雄、张磊做了大量的排版校对工作。在此，我感谢本实验室各位老师和研究生在各方面对出版本书的支持和帮助。

为了方便读者学习和参考，本书源程序可到<http://www.khp.com.cn>中下载。

由于编著时间有限，本书难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

如果对本书有疑问或希望与作者相互商讨，可与我们联系，我们的E-mail地址是：

przhang@ustc.edu.cn

中国科学技术大学自动化系
嵌入式系统和远程控制实验室

张培仁

2006年10月

目 录

第1章 单片机开发系统	1
1.1 单片机仿真器	1
1.2 单片机开发器（仿真器）的功能、结构、分类	1
1.3 ROM仿真器	2
1.4 实时在线ICE仿真器	3
1.5 软件仿真器	3
1.6 JTAG仿真器	4
1.7 嵌入式系统的应用	5
1.8 嵌入式系统的特点	5
1.9 嵌入式系统的种类	6
1.10 嵌入式系统开发前对用户的需求分析	7
第2章 嵌入式实时操作系统	9
2.1 实时操作系统的一些基本概念	10
2.1.1 任务	10
2.1.2 多任务	10
2.1.3 任务切换	10
2.1.4 内核	11
2.1.5 任务调度	11
2.1.6 任务优先级	11
2.1.7 资源，共享资源与互斥	12
2.1.8 死锁和饿死	12
2.1.9 同步	13
2.1.10 任务间通信	14
2.1.11 消息邮箱和消息队列	14
2.1.12 中断	15
2.1.13 时钟节拍	15
2.1.14 对存储器的需求	15
2.1.15 实时操作系统内核的优点	16
2.2 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 内核结构	16
2.2.1 任务	17
2.2.2 任务状态	17
2.2.3 任务控制块（Task Control Blocks, OS_TCBs）	18

2.2.4 任务管理	20
2.2.5 中断处理	23
2.3 嵌入式Linux操作系统	23
2.3.1 嵌入式Linux综述	23
2.3.2 嵌入式Linux的软件开发环境	26
第3章 嵌入式系统专用术语和应注意的问题	31
3.1 与中央处理器有关的名词术语	31
3.2 与系统有关的名词术语	33
3.2.1 与功能有关的名词术语	33
3.2.2 与工艺有关的名词术语	36
3.2.3 与存储器有关的名词术语	37
3.2.4 与操作系统和开发器有关的名词术语	38
3.2.5 与微处理器电源有关的名词术语	38
3.2.6 与DSP有关的名词术语	39
3.3 使用嵌入式系统应注意的问题	39
3.3.1 工作条件	39
3.3.2 引脚电压	40
3.3.3 输出负载	40
3.3.4 电源使用	40
3.3.5 防止地线毛刺	40
3.4 芯片封装技术	41
3.4.1 通孔封装	41
3.4.2 表面安装	42
第4章 嵌入式微处理器编程语言	46
4.1 汇编语言	46
4.1.1 汇编指令系统的分类	46
4.1.2 汇编语言中的寻址	47
4.1.3 例子	51
4.2 C语言	53
4.3 混合编程	55
4.3.1 在C中调用汇编函数	55
4.3.2 在汇编中调用C函数	59
4.4 DSP的C语言程序编写和调试环境简介	60
4.4.1 C编译器概述	60
4.4.2 TMC320C2x/C2xx/C5x C编译器环境	61
4.4.3 利用TMC320C2x/C2xx/C5x C编译器开发应用程序的步骤	67
4.4.4 头文件和命令文件	70

第5章 基于C语言的先进8位单片机	74
5.1 MCS-51单片机	74
5.1.1 MCS-51单片机内部结构分析	75
5.1.2 MCS-51单片机引脚功能	76
5.1.3 MCS-51单片机存储器组织	78
5.1.4 MCS-51 CPU时序	82
5.1.5 MCS-51低功耗运行方式	84
5.1.6 MCS-51指令系统	84
5.1.7 MCS-51编程语言	85
5.2 C8051F单片机	88
5.2.1 引言	88
5.2.2 系统概述	89
5.2.3 CIP-51TM微控制器内核	90
5.2.4 存储器组织	91
5.2.5 中断系统	93
5.2.6 I/O可配制为数字方式或模拟方式	95
5.2.7 时钟源	96
5.2.8 JTAG	97
5.2.9 复位源	100
5.2.10 电压基准	101
5.2.11 Flash ROM&SoC	101
5.3 8位单片机C语言编程应用实例	104
5.3.1 串行通信在C8051F236上的实现	105
5.3.2 语音播放C8051F236上的实现	110
5.3.3 串行大容量Flash读写在C8051F236上的实现	116
第6章 16位单片机简介	127
6.1 凌阳16位单片机	127
6.2 SPCE061A	128
6.2.1 性能	128
6.2.2 SPCE061A的结构	129
6.2.3 SPCE061A最小系统	130
6.2.4 SPCE061A的开发方法	130
6.2.5 管脚功能	132
6.2.6 片内存储结构	133
6.2.7 片内外设部件	134
6.2.8 中断系统	139
6.2.9 凌阳音频简介	140

6.2.10 端口寄存器.....	142
6.2.11 SPCE061A的局限性.....	143
6.3 SPMC701FM0A.....	144
第7章 32位ARM处理器.....	146
7.1 ARM处理器选择的一般原则.....	146
7.2 ARM7处理器S3C44B0X.....	150
7.3 S3C44B0X编程实例.....	152
7.3.1 S3C44B0X的UART驱动编程.....	152
7.3.2 S3C44B0X的LCD驱动编程.....	154
7.3.3 S3C44B0X的通用I/O口及其扩展.....	158
7.3.4 S3C44B0X的IIC总线接口.....	163
第8章 DSP概述.....	167
8.1 DSP的发展与特点.....	167
8.1.1 DSP的发展历史.....	167
8.1.2 DSP的特点.....	168
8.2 DSP的分类与选型.....	170
8.2.1 TMS320C2000.....	170
8.2.2 TMS320C5000.....	174
8.2.3 TMS320C6000.....	175
8.2.4 OMAP系列.....	176
8.2.5 DaVinci系列.....	176
8.3 DSP各主要功能描述.....	176
8.4 DSP实例应用——基于TMS320LF240xA的通信应用.....	177
8.4.1 RS232、RS422和RS485总线.....	177
8.4.2 IIC总线.....	181
8.4.3 CAN总线.....	188
8.5 基于TMS320LF2407A的控制电机的PID算法实现.....	195
8.5.1 位置式PID算法.....	195
8.5.2 增量式PID算法.....	197
8.5.3 模糊PID算法.....	199
第9章 嵌入式系统的存储器.....	201
9.1 选择嵌入式系统的存储器应注意的问题.....	201
9.2 存储器工作时序.....	201
9.3 存储器分类.....	203
9.4 EPROM.....	204
9.5 EEPROM.....	205

9.6	Flash	206
9.7	微处理内部的Flash在线编程	207
9.8	编程器	210
9.9	小结	211
第10章	嵌入式系统I/O接口电路设计	212
10.1	嵌入式系统I/O接口的硬件结构	212
10.1.1	I/O部分硬件结构	213
10.1.2	有关嵌入式系统I/O口应注意的问题	216
10.2	嵌入式系统A/D、D/A接口设计	220
10.2.1	A/D转换器分类	220
10.2.2	Σ - Δ AD7710接口设计	224
10.2.3	高精度数字信号发生器(D/A)设计	227
10.2.4	AD7710在精密测量中的应用实例	239
10.3	高精度远程隔离型多路AI/AO控制电路设计	242
10.3.1	远程模拟量输入电路(AI)结构设计	243
10.3.2	远程模拟量输出电路(AO)结构设计	248
10.4	A3952在单相无刷直流电机控制中的接口设计	253
10.4.1	TMS320LF2407的特点	253
10.4.2	全桥式脉宽调制芯片A3952的结构和功能	253
10.4.3	无刷直流电机的特点	255
10.4.4	TMS320LF2407和A3952在单相无刷直流驱动中的应用	256
10.5	扩展32个输入、32个输出的实例	257
10.5.1	GM8166结构介绍	258
10.5.2	芯片功能详细描述	259
10.5.3	串入并出、并入串出驱动程序实例	261
第11章	嵌入式系统低功耗	264
11.1	低功耗原理	264
11.1.1	从工艺角度分析功耗	264
11.1.2	从晶体管特性曲线分析动态功耗	265
11.1.3	从中央处理器(CPU)工作管理角度分析系统功耗	266
11.1.4	系统后备功能	268
11.2	几种低功耗中央处理器的结构	269
11.2.1	MSP430的低功耗系统	269
11.2.2	80C51的CPU低功耗系统	274
11.2.3	SPCE061A的CPU结构	277
11.2.4	DSP的CPU结构	278
11.2.5	低功耗中央处理器系统中要注意的问题	281

11.3 低功耗系统要解决的问题.....	281
11.3.1 放大器低功耗设计.....	281
11.3.2 电源供给.....	286
11.3.3 存储器的低功耗运行.....	289
11.3.4 液晶显示屏.....	291
第12章 现场总线.....	293
12.1 总线定义.....	293
12.1.1 现场总线的技术特点.....	293
12.1.2 现场总线的发展史.....	294
12.2 现场总线的分类.....	295
12.3 高速综合控制总线的结构.....	297
12.3.1 现场总线的不足和企业网络.....	297
12.3.2 TOP/MAP/Fieldbus.....	297
12.3.3 LAN/Fieldbus.....	298
12.4 网关的搭建流程和要求.....	299
12.4.1 网关.....	299
12.4.2 CAN网关的平台建设.....	301
12.5 基本的CAN网关及测试程序.....	314
12.5.1 接入CAN总线——驱动程序的编写.....	314
12.5.2 驱动程序的测试.....	323
12.5.3 基本网关功能的实现——软件架构.....	326
12.5.4 Internet应用层协议与客户端的状态机.....	331
第13章 干扰类型和抗干扰技术.....	334
13.1 噪声的定义.....	334
13.2 噪声的分类.....	335
13.3 干扰的耦合方式.....	337
13.4 抗干扰技术措施.....	339
13.4.1 频带不同——滤波去噪法.....	339
13.4.2 频带重叠——相关技术去噪法.....	357
13.4.3 规则性噪声——平均去噪法.....	360
13.4.4 硬件技术——屏蔽与双绞线传输去噪法.....	361
13.4.5 硬件隔离技术.....	364
13.4.6 看门狗.....	367
13.4.7 软件技术——小波去噪法.....	371
13.4.8 印刷电路板抗干扰技术.....	377

第1章 单片机开发系统

1.1 单片机仿真器

开发单片机的用户都知道，不同的嵌入式微处理器所用的单片机开发器也不同。没有单片机仿真器就无法开发单片机系统。在调试嵌入式MCU应用程序时，会出现编程错误、硬件错误、接口驱动错误、数据格式错误等等。总的来说有两种错误：一种为语法错误，另一种为非语法错误。前者在编译时可以被发现并纠正。后者（如I/O定义和使用错误、逻辑顺序错误、硬件接口及可编程控制字错误等）只有在调试目标系统时才能够被确认、定位、改正。所以，开发单片机系统时一定要要有仿真器。仿真器种类很多，那么一个仿真器应具有什么结构和功能呢？

1.2 单片机开发器（仿真器）的功能、结构、分类

单片机开发与PC机开发有很大不同。PC机的应用系统调试器和被调试的程序常常是在同一台计算机（也就是同一个CPU）上，操作系统也相同，例如都在Windows平台上利用C语言开发应用系统。调试器（即主机PC机）进程通过操作系统提供调用接口来控制被调试的进程或程序。而单片机操作系统中，开发机（PC机）和目标机（用户用的CPU）处于不同的机器中，程序在开发机（即PC机）上进行编辑、交叉编译、连接定位，然后下载到单片机系统中进行运行和调试。也就是说，调试器程序运行于桌面操作系统，而被调试的程序运行于嵌入式操作系统上。这样就产生如下问题：

（1）两者如何进行通讯。因为要通讯（串行、并行通讯）就可能占用嵌入式微处理资源，这是否会影响嵌入式系统的功能，通讯是否受到限制。

（2）前者（PC机）如何控制后者。后者出现异常现象（如死机、跑飞）时如何告知PC机。另外，调试后者时如何设置断点、单步进行动态调试。

（3）当嵌入式系统全速运行时，PC机如何监视和控制它。由于控制时间小于 $1\mu\text{s}$ 。通讯是否来得及，能实时在线控制吗？虽然用高速逻辑分析仪可以监视嵌入式微处理器的总线，但逻辑分析仪没有控制功能。

（4）如何实现在线实时仿真。只有在线实时仿真才能全面真实地反映嵌入式微处理器的动态全速工作状态，才能真正调试好后再被装载到调试的嵌入式微处理器系统。

为解决好以上问题，仿真器必须具有什么功能呢？

- (1) 我们要调试单片机,在仿真器中至少有一个与被调试嵌入式系统相同的微处理器。
- (2) 为了充分利用桌面系统的硬软件环境,仿真器必须具有与PC通讯的接口和相应的交叉编译、编辑及调试界面。
- (3) 必须有与被调试器的ROM芯片的接口、电缆设备。仿真器调试时必须方便修改ROM中的程序。一般用如下两种方法:仿真器用RAM代替单片机的ROM;ROM可以用闪存EPROM或E²PROM的内容。
- (4) 仿真器一定具有单步、多步、设置和取消断点、运行、全速运行等动态调试功能。
- (5) 仿真器必须有一个人机调试界面。人机界面除了具有动态调试功能,还应当方便编辑、书写汇编程序和高级语言,能把PC机上写的高级语言(如C语言)程序和汇编程序(经过编译、连接后)变成嵌入式微处理器能够执行的二进制执行文件,并可下载到仿真器中。

用不同的方法和思路解决仿真器的问题从而产生了各种不同型号的仿真器。各种仿真器有着各自的优缺点。

1.3 ROM仿真器

最早MCS-51系列仿真器是ROM仿真器。ROM仿真器就是仿真ROM,它是用RAM以及附加电路制成的。仿真器最初和目标应用板共用一个目标板所需的CPU。仿真器与PC机相连接,从而组成最简单也很实用且低价格的仿真器。ROM仿真器为程序开发过程节省时间,能完成编辑、编译、下载、调试等功能。调好程序后,取下原来的EPROM,用紫外线照射擦除后,再用专用EPROM读写器写入新的程序,最后插回到原目标系统中。仿真器调试程序时,因为要经常修改、编辑,所以仿真器用RAM代替ROM。最后写入EPROM是离线操作,要用专用设备,不能在线编辑写入。因为这时仿真器和目标板共享一个CPU,仿真器只有控制目标板的程序(即用户应用程序)才能通过通讯传到PC机,再通过人机界面控制目标板程序运行。这里存在下面几个问题。其一,仿真器必须同时存在两个系统程序,一个是控制目标动态调试的监控程序或系统软件;一个是用户应用程序。其二,两种程序的主控权在具有监控程序的仿真器方面,而不可能相反,否则无法控制用户程序运行。只有一种情况下目标板可以脱离仿真器运行,这就是脱机全速运行方式。这时仿真器不再控制,也无法控制目标板的运行,人也无法干涉、修改目标板上程序的执行。人观察目标板是否有显示,或检测I/O得到目标板程序执行情况,判断其正确与否。其三,目标板的CPU工作是这样进行的:首先仿真器监控与PC机通讯的状态,然后接收调试命令执行目标板用户程序,执行一条或多条程序语句或某一断点之后再返回监控程序,再准备接收仿真器命令。这样循环往复直到最终调好程序。CPU是共用的,因此不能完全反映出只给目标程序使用时的情况。特别是,执行速度、延时多少是非实时的,并且很难预测。其四,用户通过PC机界面再通过仿真器控制用户的目标程序运行,这样必然要占用目标板上CPU的资源(与仿真器共用一个CPU)。这时如果用户应用程序也必须要用这个资源,那么这种仿真器是无法调试的。其五,当CPU的引脚不断增加时,ROM仿真器与目标板的连线就特别多,很

可能使系统不可靠。又因为连线过长，在分布电容影响下CPU高速运行（如30M以上）时很容易出现传送错误，经常导致程序跑飞。

总之，ROM仿真器既可以调试目标程序，也可以动态调试程序运行和仿真多种接口。对ROM仿真器性能总体评价如下：

- 不完全是实时的。
- 不完全是在线的。特别是，调试结束要把程序用专用设备离线写入EPROM或E²PROM中。
- 占用CPU一些资源。
- 价格最低，国内这种仿真器的价格在人民币1 000元至2 000元之间。

1.4 实时在线ICE仿真器

ROM仿真器和目标板共用一个CPU，从而带来诸多缺点和问题。如果仿真器和目标板各自具有独立的CPU，则很多问题将迎刃而解。ICE仿真器提供自己的处理器和存储器，不再依赖目标系统的处理器和内存。ICE和目标系统通过连接器组合在一起，这个系统在调试时使用ICE的处理器和存储器、目标板上的I/O接口。完成调试之后，再使用目标板的处理器和存储器实时运行应用代码。目标系统程序驻留在目标内存中，而调试代码存放在ICE存储器中。当处于正常运行状态时，ICE处理器从目标内存中读取指令。然而在调试代码控制目标系统时，ICE从自己的本地存储器中读取指令，这样永远保持ICE对系统运行的控制，即使在目标系统跑飞时也能控制。这里要求仿真器的CPU高速监控目标板CPU上的三总线。通过不断切换，仿真器能记录执行指令时的所有信号和指令执行情况。这样就要求仿真器结构比较复杂，系统软件也要效率高、功能全，因此设计这种仿真器是比较困难的。这种仿真器虽然可以实时在线调试目标程序和目标板上的I/O口，但也存在两个缺点。其一，仿真器中CPU与目标板接线很多，有时多达300条左右，这种插座上的连线都是专用的且很贵，对于100M以上的CPU，连线影响CPU在三总线上运行。其二，这种开发器价格很贵，一般科研用户都难以接受。

以上两种仿真器对于单片机MCU（微控制器部件）或DSP（数字信号处理器）或CPU而言，其本身一般没有集成与仿真器有关的功能，仿真器所有功能只能在外电路或外加另一个CPU来解决。

1.5 软件仿真器

软件仿真器也叫指令集仿真器，它利用软件来模拟微处理器的硬件，这包括指令系统、外部I/O状态、中断、定时器等。由于PC机性能的提高，用PC的CPU的多条指令模拟单片机、DSP的一条指令，并且把执行结果显示出来，基本上可以达到实时或接近实时。

软件仿真器优点是明显的。其一，它可以并行多人共同开发嵌入式系统的硬件、软件，

而且应用软件的编程错误、逻辑错误很容易发现和定位。如果软件仿真器功能比较全，还可以对目标板上相应的硬件进行开发。其二，它可以评估某一个嵌入式系统的性能，特别是嵌入式系统中算法的评估更为有效，这样不存在硬件修改或改造的问题，节省开发成本。

软件仿真器缺点也是明显的。PC机用一段高级语言编程可能只为模拟嵌入式系统一条指令，因此执行速度取决于PC高级语言的编程效率，也许速度很慢。其二，仿真目标板上某一I/O芯片困难，作为一种通用软件，不可能解决用户对I/O的各种要求，只能为共同CPU内部设计一种通用仿真软件。因此，软件仿真器只能仿真软件正确与否，很难仿真目标板的性能如何。随着嵌入式系统功能越来越强大、越来越全面，特别是嵌入式系统增加SoC片上系统以后，软件仿真可能是一种不错的办法。

1.6 JTAG仿真器

随着单片机芯片制作工艺越来越成熟，硬件价格也越低。微处理器遇到两个问题。其一，在生产流程中芯片不可能百分之百合格，需要进行初测、中间检测以及最终测试，把不符合要求（包括功能不全、功耗过大等）的芯片检测出来。为保证芯片质量，在芯片出厂前如何对其进行检测呢？其二，对于每一种微处理器，必须相应开发出调试微处理器的仿真器。如何使仿真器价格降低、功能又全呢？解决这些问题的一个重要方法，是在制作芯片时包括一部分仿真器以监测、跟踪、控制微处理器的功能，并且还要有与上位机PC的通信接口。这样，一方面使仿真器监控功能转移到芯片中，从而简化了以后设计的仿真器大部分的功能，又便于在芯片生产过程中检测芯片质量。

JTAG (IEEE1149.1) 协议应运而生，它来自于计算机板测试行业。JTAG基于以前传统计算机板测试，补充了电路板测试仪的不足之处。它通过把计算机板上所有的节点连接到一个很长的移位寄存器来进行测试，寄存器上每一个二进制位相当于电路的一个节点。JTAG仿真器的软件通过分析该移位寄存器的输入输出数据判断微处理器以及目标板的状态。JTAG目前已成为一种标准，只要在JTAG的接口上以正确的顺序适当地重构串行二进制位流，一次就能采样整个电路或微处理器的工作状态和运行数据。JTAG既输入控制和相应要送入的二进制位流，又输出二进制状态位流和数据流。仿真器只要具备和这个二进制位流相对应的接口就可以，从而使仿真器监测、跟踪、控制功能大大简化了，仿真只需分析JTAG端口输出的串行数据流。JTAG的命令独立于微处理器的指令系统，可以完全控制处理器的运作，如运行、单步、多步、断点、暂停等。JTAG协议将监控微处理器的状态寄存器、地址寄存器、数据总线的状态、各种特殊寄存器以及芯片内部多个常用寄存器，监测位可以达几千位。近几年来各个芯片厂商又做了改进，加入了可定位循环和基于JTAG的命令。前者把以前大串循环位流改为分类小循环后再发送到芯片调试内核中，而后者使用JTAG协议通过命令移动串行二进制位流来对芯片内核进行控制，这样既能全速监控微处理器的工作又可以使接口简单，缺点是芯片内部要包括一部分仿真器硬件和软件。

从硬件角度来看，JTAG仿真器一端接到计算机，接口可以是串行口、并行口、USB口等，另一端与目标处理器的JTAG引脚相连。

有关JTAG仿真器更详细的内容,请参看后面有关章节。

JTAG仿真器一般设有很大RAM作为目标板的ROM映射区。近10年来,微处理器芯片内部用于存储程序的ROM已经从EPROM、E²PROM发展到Flash存储器(闪存)。程序直接下载到芯片内部,然后启动运行。擦除、写入、编程都可以在线进行,给仿真器带来极大方便。但Flash写入时对电源电压的稳定性、滤波性能等的要求比较高,使用时要特别注意。

1.7 嵌入式系统的应用

现在,衡量一个国家现代化水平高低的重要指标之一是人均使用多少MCU或CPU,这里多半不是指PC机的中央处理器(CPU),而是指各种产品中的嵌入式微控制器和微处理器。一辆小汽车有30~50个微处理器已不算很高档了。嵌入式系统已经走出科学家的象牙塔而走向社会,走向大众的生活,走向各行各业中。

电动玩具、空调、冰箱、微波炉、CD、MP3、电视机、网络路由器、机顶盒、手机、掌上计算机、数码音频设备、数码相机等都有嵌入式微处理器和微控制器,这些消费类电子产品内部的控制核心就是一个或多个嵌入式微处理器。

办公室自动化产品也离不开嵌入式系统。一台PC机,其中键盘、硬盘、软盘、光盘的控制都是嵌入式微控制器的功劳,打印机、传真机、扫描仪也离不开嵌入式系统。

工业自动化中各类智能仪表、现场总线设备以及各种智能传感器、数控机床等都使用嵌入式系统与各种设备、传感器、驱动器相连接。工业控制系统网络化、数字化、智能化、控制分散化都是由于嵌入式系统性能越来越好、价格越来越低而发展起来的。

1.8 嵌入式系统的特点

嵌入式系统与通用计算机系统相比有如下特点:

- 嵌入式系统通常使用在特定应用领域,如嵌入在手机、电冰箱、空调、各种机械设备、智能仪器仪表中起核心作用,功能是专用的。
- 嵌入式系统是计算机技术、半导体技术、电子技术与各行各业相结合的产物。它既有硬件也有软件,不仅包括系统软件也包含了用户的应用软件。它有数字电路又有模拟电路。其产品技术含量高,涉及多种学科,不容易开发,因此也不容易形成技术垄断。
- 通用计算机软件版本升级比较快,但相对来说硬件环境不变,系统软件规模基本固定,功能也基本相似。嵌入式系统因为嵌入环境不同,差别很大,往往要量体裁衣,精心地选择。很少有各种嵌入式系统的统一模式。
- 嵌入式系统的系统软件、应用软件要固件化。对嵌入式系统软件要求质量高,并有相应的实时处理功能。

- 嵌入式系统比通用计算机系统生命周期长，升级换代比通用计算机慢。
- 嵌入式系统不像通用计算机那样有了计算机就可以进行应用开发。其芯片本身不具备开发功能，必须有一套开发工具和开发软件。
- 开发嵌入式系统很难大集体产业化，一般由少数工程师的个体劳动和个体活动来完成。嵌入式系统一般分为硬件、软件，可以分别由不同人开发。由于软件与硬件、软件与软件之间关联较多，多人开发效率并不高。

嵌入式系统一般应具有如下功能：

- 支持实时多任务系统的能力。
- 具有保护程序存储器的功能。
- 具有可以扩展扩充的功能。
- 具有低功耗功能。
- 具有较强抗干扰的能力。

嵌入式系统和通用计算机系统有很多共同特点：

- 它们都是对存储的程序进行有序存取而工作的。它们都依靠内部或外部地址总线、数据总线、控制总线工作的。它们都有中断系统。
- 通用计算机是由内核（CPU）加芯片外部的设备组成一个完整系统。嵌入式系统大部分依靠内核加上内部的外部设备模块组成一个系统，只有需要扩展时才有芯片外部设备。
- 通用计算机无需过细关心硬件底层的事件。嵌入式系统必须关心硬件底层的事件。
- 通用计算机网络系统已经很成熟了。嵌入式系统正在向网络化方向发展。
- 嵌入式系统一般分四大类，即微控制器、微处理器、数字信号处理器（DSP）、片上系统。其中，嵌入式微处理器就是将通用计算机系统的中央处理器经过改造而实现的。
- 嵌入式系统的开发人员更要注意与其他专业人员进行合作，只有如此才有可能设计出较好的嵌入式系统。

1.9 嵌入式系统的种类

嵌入式系统根据其复杂程度可分为四类。

1. 单片微处理器

这类单片机本身就包括ROM、RAM、I/O、A/D、D/A。只要一片就组成一个嵌入式系统。这类占整个嵌入式系统的大多数。

2. 可扩展的单片机系统

这类单片机系统有外部三总线（地址总线、数据总线、控制总线）。一般可以从内部

ROM中取指令，也可以从外部ROM中取指令，寻址空间一般在1M以内。外部可以增加一些系统所必须的I/O芯片、A/D芯片。

3. 复杂的嵌入式系统

这类主要以16位和32位CPU为主，装有多任务实时操作系统，内存在1M以上，并且有多种接口。可以接LCD彩色显示屏，可以有各种总线如LAN、CAN、IIC、RS232以及以太网接口。

4. 形成网络化或现场总线的嵌入式控制系统

把多个嵌入式系统用高速网、低速网连接起来。要很好解决总线、网络的冲突同步问题。主嵌入式系统一定是实时多任务操作系统。这类系统主要用于生产过程控制、大型远程监控系统、复杂的远程控制系统。每一个嵌入式系统都有操作系统或监控系统。

第一类除了嵌入式微处理器以外一定会有复位、时钟、电源部分。

第二类除具有第一类功能以外主要有外部三总线，它们与外部RAM、ROM、I/O、A/D、D/A、并行接口、串行接口相连接。

第一类和第二类单片机系列主要包括：MCS-51/96系列，Philips51系列，ATMEL51/89/90系列，ADI公司的ADUC812、816、824系列，Motorola公司的68HCxx系列，Zilog公司的Z8、Z80系列，Microchip的PIC系列（如PIC16Cxx、PIC17Cxx、PIC18Cxx、PIC12Cxx）。

第三类和第四类主要以16位机和32位机为主，包括：80C51XA（Philips），ATMEL AT90系列，在Intel486基础上开发的80C186/196（由通用微处理器进行改造而成的嵌入式微处理器），以及AMD公司开发的x86嵌入式微处理器。

属于第三类和第四类的还有：Motorola公司的mpc555、700、3000系列；ARM系列，第一个ARM原型于1985年4月26日在英国剑桥的Acron公司诞生，由美国加州SanJose VLSI技术公司研制。该系列可构成低功耗、低成本、高性能的嵌入式系统。ARM公司是知识产权供应商，本身不生产芯片，全世界有100多家公司在使用它的技术。

1.10 嵌入式系统开发前对用户的需求分析

是否可用嵌入式系统开发某个项目，首先应对用户需求进行详细分析，回答如下问题：

- 系统的任务和功能是什么？
- 系统要接收什么输入信号？
- 系统要驱动什么输出设备？
- 系统已有什么软件？
- 系统是否需要控制算法？算法执行时间是多少？
- 系统要处理哪些类型的数据？
- 是否与其他系统通讯？
- 系统响应时间是多少？