

国家级特色专业（物联网工程）规划教材

物联网与 嵌入式系统开发 (第2版)



刘连浩 编著

本书配有教学课件，主要内容包括ARM9、Cortex的体系结构、硬件组成，指令系统和程序设计、存储器接口、I/O、中断、DMA、定时器、串行通信、嵌入式Linux、 μ C/OS-III操作系统应用。

 中国工信出版集团

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

国家级特色专业（物联网工程）规划教材

物联网与嵌入式系统开发

（第2版）

刘连浩 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是依托中南大学国家级特色专业（物联网工程）的建设，结合国内嵌入式系统教学情况而编写的。本书主要介绍嵌入式系统开发，以 S3C2440A、STM32F74xx 为硬件，以 Keil μ Vision5.0 为开发工具，详细介绍了 ARM9、Cortex 的体系结构、硬件组成，指令系统和程序设计、存储器接口、I/O、中断、DMA、定时器、串行通信、嵌入式 Linux、 μ C/OS-III 操作系统应用、LWIP 编程，最后给出了在物联网应用中常用的嵌入式系统开发实例。

本书可以作为普通高校物联网工程及相关专业的嵌入式系统课程教材，也可供从事物联网和嵌入式开发的相关专业人士阅读。

本教材配有教学课件、实验指导书、实验程序，读者可登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费注册后下载。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

物联网与嵌入式系统开发 / 刘连浩编著. —2 版. —北京：电子工业出版社，2017.1

国家级特色专业（物联网工程）规划教材

ISBN 978-7-121-30328-9

I. ①物… II. ①刘… III. ①互联网络—应用—高等学校—教材②智能技术—应用—高等学校—教材③微型计算机—系统开发—高等学校—教材 IV. ①TP393.4②TP18③TP360.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 271287 号

责任编辑：田宏峰

印 刷：北京京科印刷有限公司

装 订：北京京科印刷有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×980 1/16 印张：21.25 字数：476 千字

版 次：2012 年 9 月第 1 版

2017 年 1 月第 2 版

印 次：2017 年 1 月第 1 次印刷

印 数：3 000 册 定价：49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010) 88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：tianhf@phei.com.cn。

出版说明

物联网是通过射频识别 (RFID)、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备,按约定的协议,把任何物品与互联网相连接,进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络概念。物联网是继计算机、互联网和移动通信之后的又一次信息产业的革命性发展。物联网产业具有产业链长、涉及多个产业群的特点,其应用范围几乎覆盖了各行各业。

2009年8月,物联网被正式列为国家五大新兴战略性新兴产业之一,写入“政府工作报告”,物联网在中国受到了全社会极大的关注。

2010年年初,教育部下发了高校设置物联网专业申报通知,截至目前,我国已经有100多所高校开设了物联网工程专业,其中包括中南大学在内的9所高校的物联网工程专业于2011年被批准为国家级特色专业建设点。

从2010年起,部分学校的物联网工程专业已经开始招生,目前已经进入专业课程的学习阶段,因此物联网工程专业的专业课教材建设迫在眉睫。

由于物联网所涉及的领域非常广泛,很多专业课涉及其他专业,但是原有的专业课的教材无法满足物联网工程专业的教学需求,又由于不同院校的物联网专业的特色有较大的差异,因此很有必要出版一套适用于不同院校的物联网专业的教材。

为此,电子工业出版社依托国内高校物联网工程专业的建设情况,策划出版了“国家级特色专业(物联网工程)规划教材”,以满足国内高校物联网工程的专业课教学的需求。

本套教材紧密结合物联网专业的教学大纲,以满足教学需求为目的,以充分体现物联网工程的专业特点为原则来进行编写。今后,我们将继续和国内高校物联网专业的一线教师合作,以完善我国物联网工程专业的专业课程教材的建设。

教材编委会

编委会主任：施荣华 黄东军

编委会成员：（按姓氏字母拼音顺序排序）

董 健 高建良 桂劲松 贺建飏

黄东军 刘连浩 刘少强 刘伟荣

鲁鸣鸣 施荣华 张士庚

第 2 版前言

本书自 2012 年 9 月第一次出版以来，受到了读者的广泛好评，很多高校的电子、自动化、计算机、物联网、通信、安全等相关专业嵌入式系统课程均选用该书作为教材，而且对该书提出了很多宝贵的意见和建议，在此深表感谢！

自第一次出版以来，嵌入式技术在飞速发展，代表性的有 2014 年 ARM 公司推出 Cortex-M7，Keil 公司 2013 年 9 月推出 μ Vision5.0 版本等。作者从 2013 年开始酝酿对第 1 版的修订，历时 3 年，期间几易其稿。

与第 1 版相比，第 2 版在内容上做了很大的修改和补充，增加了近几年嵌入式发展的最新成果，如 Cortex-M7、 μ C/OS-III 等。在结构上，打破以往一本图书只讲述一种 CPU 的架构方法，改由按每个知识点发展的时间角度讲述。本书以 ARM9 和 ARM Cortex 为硬件进行各知识点的讲述，如中断的讲述，从 ARM9 的中断的原理，到 Cortex-M3/M4/M7 的中断原理；I/O 的讲解，ARM9 的 I/O 原理，Cortex-M4/M7 的 I/O 原理；定时器，ARM9 的定时器原理，Cortex 的定时器原理。通过这样的教学使学生了解嵌入式计算机的发展过程、每个知识点的完整原理和发展方向等。本书的实例程序以 ARM9 的 S3C2440A、Cortex-M4 的 LPC4357、Cortex-M7 的 STM32F74xx 为例进行编写，提供 S3C2410、S3C244A 和 STM32F74xx 的配套实验指导书和配套实验程序的电子文档。

STM32F74xx 的实验指导书、实验程序由李祖赓编写。在本次修订工作中得到了中南大学信息科学与学院领导邹北冀、粟梅、施荣华的大力支持，在此一并表示感谢！

刘连浩

2016 年 11 月

嵌入式系统是融合计算机软/硬件技术、半导体技术、电子技术和通信技术，与各行业的具体应用相结合后的产物。嵌入式 CPU 从 8 位、16 位发展到 32 位、64 位，嵌入式系统无处不在，已普遍应用于国防、电子、数字家庭、工业自动化、汽车电子、医学科技、消费电子、无线通信、电力系统等国民经济的主要行业。在众多嵌入式处理器中，ARM 具有功能强、成本低、功耗少等特点。基于 ARM 技术的微处理器应用占 32 位 RISC 微处理器 75% 以上的市场份额。

物联网是一种建立在互联网上的泛在网络，通过各种有线网络和无线网络与互联网融合，综合应用了海量的传感器、智能处理终端、全球定位系统等，实现物与物、物与人，所有的物品与网络的连接，方便识别、管理和控制。物联网引领了信息产业革命的第三次浪潮，将成为未来社会经济发展、社会进步和科技创新的最重要的基础设施，物联网是新一代信息技术的重要组成部分，是互联网与嵌入式系统发展到高级阶段的融合。物联网的物联源头是嵌入式应用系统的 4 个通道接口（I/O 接口）：与物理参数相连的是前向通道的传感器接口；与物理对象相连的是后向通道的控制接口；实现人-物交互的是人机交互接口；实现物-物交互的是通信接口。物联网的实现需要用到嵌入式技术，嵌入式系统作为“物联网”的核心，是当前最热门最有前景的 IT 应用领域之一。因此，高校急需一本嵌入式与物联网方面的教材。

本书以 ARM 为例，介绍嵌入式系统的基本原理和开发方法；以嵌入式 Linux 操作系统为例，介绍实时操作系统的基本功能、软件设计方法和嵌入式交叉编译环境的建立方法；以物联网中常用操作系统 TinyOS 和传感器网络编程 nesC 语言为例，介绍物联网的应用开发。

全书分为 8 章。主要内容有：嵌入式系统概述，主要介绍嵌入式的概念、发展历史、应用领域、发展趋势、物联网与嵌入式系统；介绍 ARM 体系结构、存储结构和其他部件；介绍 ARM 指令系统、汇编语言程序设计和 C 语言程序设计方法；以 S3C2440 处理器为例介绍 ARM 处理器的硬件结构和接口编程；介绍嵌入式 Linux 操作系统的基础知识，包括进程管理、内存管理、设备管理、文件系统以及其他常用嵌入式操作系统；介绍嵌入式操作系统应用开发，包括创建虚拟机、交叉编译环境、Linux 常用命令和嵌入式 Linux 应用编程；

介绍 Bootloader 和嵌入式 Linux 操作系统移植；介绍物联网中常用的操作系统 TinyOS 和传感器网络编程 nesC 语言。

本书由刘连浩编著，王智超在本书的编写过程中做大量的工作。在本书的编写中得到了李刚、贺建飏、曾锋等老师的大力支持，在此特表示感谢！

由于编者的水平有限，加之时间仓促，书中错误与不足之处在所难免，欢迎读者批评指正。

由于作者水平有限，本书错误和疏漏之处在所难免，恳请读者提出宝贵意见和建议。
联系邮箱：llhao@mail.csu.edu.cn。

作 者

2012年8月



第 1 章 概述	(1)
1.1 单片机概念及特点	(1)
1.2 单片机的发展及种类	(1)
1.2.1 单片机发展	(1)
1.2.2 嵌入式处理器种类	(3)
1.3 CISC 与 RISC	(5)
1.3.1 CISC 与 RISC 简介	(5)
1.3.2 流水线	(6)
1.4 ARM 处理器系列	(6)
1.4.1 ARM 版本	(6)
1.4.2 常用 ARM 系列简介	(10)
1.4.3 ARM v8	(18)
1.5 ARM 的开发工具	(18)
思考与习题	(23)
第 2 章 ARM 基础与指令系统	(24)
2.1 ARM 处理器基础	(24)
2.1.1 ARM 处理器特点	(24)
2.1.2 存储器大小端方式	(24)
2.1.3 ARM 处理器状态、ARM 处理器模式及 ARM 模式下寄存器	(25)
2.1.4 Thumb 状态下寄存器	(28)
2.2 ARM 寻址方式	(29)
2.2.1 指令格式	(29)
2.2.2 寻址方式	(30)
2.2.3 ARM 指令的条件执行	(32)
2.3 ARM 指令	(33)
2.3.1 ARM 常用指令	(33)
2.3.2 ARM v6/7 版专有指令	(40)
2.4 Thumb 指令	(42)
2.5 ARM 伪操作与伪指令	(43)



2.5.1	符号定义与变量赋值伪操作	(43)
2.5.2	数据定义伪操作	(43)
2.5.3	汇编控制伪操作	(45)
2.5.4	信息报告伪操作	(47)
2.5.5	指令集选择伪操作	(47)
2.5.6	杂项伪操作	(47)
2.5.7	ADR、ADRL、LDR 伪指令	(48)
2.5.8	NOP 伪指令	(50)
	思考与习题	(50)
第3章	ARM 内存映射与存储器接口	(52)
3.1	ARM9 存储器接口	(52)
3.1.1	S3C2440A 存储器控制器	(52)
3.1.2	NAND Flash 控制器	(53)
3.2	Cortex-M4 存储器接口	(59)
3.2.1	Cortex-M4 结构与内存映射	(59)
3.2.2	多层 AHB 总线矩阵	(60)
3.2.3	Cortex-M4 外部存储器控制器	(64)
3.3	半导体存储器种类、NOR Flash 与 NAND Flash 存储器简介	(66)
	思考与习题	(68)
第4章	ARM I/O 口、Cortex 事件路由及 GIMA	(69)
4.1	ARM I/O 端口原理	(69)
4.1.1	ARM9 的 I/O 端口	(69)
4.1.2	Cortex-M4 的系统控制单元 I/O 与 GPIO	(71)
4.1.3	Cortex-M7 GPIO	(89)
4.2	Cortex-M4 的事件路由器	(99)
4.3	LPC43xx 全局输入多路复用器阵列 GIMA	(101)
	思考与习题	(103)
第5章	ARM9、Cortex-M4/M7 中断、LCD、A/D 与触摸屏	(105)
5.1	ARM9 中断系统原理	(105)
5.2	Cortex-M4 NVIC 中断原理	(114)
5.2.1	中断原理	(114)
5.2.2	与中断有关的寄存器	(117)
5.3	Cortex-M7 NVIC 中断原理	(120)
5.4	LCD	(131)
5.4.1	LCD 原理	(131)



5.4.2	OLED	(132)
5.4.3	ARM9 LCD 接口	(135)
5.5	A/D 与触摸屏	(146)
5.5.1	A/D 转换	(146)
5.5.2	触摸屏工作原理及种类	(148)
5.5.3	ARM9 ADC 转换器和触摸屏接口	(149)
5.5.4	Cortex-M4/M7 A/D	(153)
	思考与习题	(153)
第 6 章	ARM9、Cortex-M4/M7 DMA 与定时器	(154)
6.1	ARM9 DMA 原理	(154)
6.1.1	DMA 请求源	(154)
6.1.2	DMA 工作过程	(155)
6.1.3	基本 DMA 时序	(155)
6.1.4	DMA 传输大小	(156)
6.1.5	DMA 专用寄存器	(156)
6.2	Cortex-M4/M7 DMA 原理	(162)
6.2.1	Cortex-M4 DMA 主要功能特点	(162)
6.2.2	DMA 系统连接	(163)
6.2.3	DMA 寄存器描述	(169)
6.3	ARM9 定时器	(180)
6.4	Cortex-M4/M7 定时器种类及功能原理	(183)
6.4.1	状态可配置的定时器	(183)
6.4.2	Timer0~3 定时器	(189)
6.4.3	电机控制 PWM	(191)
6.4.4	正交编码器接口	(194)
	思考与习题	(196)
第 7 章	串行总线	(197)
7.1	串行通信概述与 RS-232C	(197)
7.2	ARM9 的 UART 接口	(203)
7.3	SPI、I2C、I2S、SD 卡总线	(206)
7.3.1	SPI 总线接口	(206)
7.3.2	I2C 总线接口	(207)
7.3.3	I2S 总线接口	(216)
7.3.4	SD 卡	(224)
7.5	现场总线	(231)



7.5.1 现场总线概述	(231)
7.5.2 CAN 总线	(236)
思考与习题	(244)
第8章 嵌入式操作系统与 LWIP	(245)
8.1 操作系统	(245)
8.1.1 操作系统简介	(245)
8.1.2 嵌入式操作系统简介	(248)
8.2 Linux 操作系统	(250)
8.2.1 Linux 简介	(250)
8.2.2 Linux 特点	(250)
8.2.3 嵌入式 Linux	(251)
8.2.4 Linux 内核版本与发行版	(251)
8.2.5 Linux 进程管理	(252)
8.2.6 存储管理	(257)
8.2.7 文件系统	(260)
8.2.8 设备管理	(263)
8.2.9 Linux 内核模块	(265)
8.2.10 Linux 配置文件	(266)
8.2.11 Linux 启动流程简介	(267)
8.3 μ C/OS 概述	(271)
8.4 μ C/OS-III 移植	(273)
8.4.1 μ C/OS 的 CPU 移植	(273)
8.4.2 μ C/OS-III 移植	(275)
8.4.3 μ C/OS-III 应用示例	(278)
8.5 LWIP 概述	(295)
8.5.1 LWIP 简介	(295)
8.5.2 LWIP 应用模式	(296)
思考与习题	(297)
第9章 物联网中的常用嵌入式系统	(298)
9.1 TinyOS 概述	(299)
9.1.1 TinyOS 简介	(299)
9.1.2 TinyOS 的特点	(301)
9.1.3 TinyOS 开发平台	(302)
9.1.4 TinyOS 开发案例	(303)
9.1.5 TinyOS 的基本概念	(303)



9.2	安装 TinyOS	(304)
9.3	nesC 概述	(308)
9.3.1	nesC 简介	(308)
9.3.2	nesC 基本概念	(310)
9.3.3	一个简单的 nesC 编程示例	(316)
9.3.4	TOSSIM 仿真	(317)
9.4	TinyOS 内部机制简介	(318)
9.4.1	TinyOS 程序运行机制分析	(318)
9.4.2	TinyOS 的调度机制	(320)
9.4.3	TinyOS 的通信模型	(320)
9.4.4	TinyOS 的能量管理	(322)
	思考与习题	(323)
	参考文献	(324)

第 1 章 概 述

1.1 单片机概念及特点

根据 IEEE（电气和电子工程师协会）的定义，嵌入式系统是“控制、监视或者辅助装置、机器和设备运行的装置”（devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants）。从中可以看出嵌入式系统是软件和硬件的综合体，还可以涵盖机械等附属装置。目前国内一个普遍被认同的定义是：以应用为中心、以计算机技术为基础、软件硬件可裁剪、适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗严格要求的专用计算机系统。

嵌入式系统是把计算机直接嵌入到应用系统之中，它融合了计算机软/硬件技术、通信技术和半导体微电子技术，是信息技术（Information Technology, IT）的最终产品。

嵌入式系统是面向用户、面向产品、面向应用的，它必须与具体应用相结合才会具有生命力、才更具有优势。即嵌入式系统是与应用紧密结合的，它具有很强的专用性，必须结合实际系统需求进行合理的裁减利用。

单片机由一块芯片组成一个完整的计算机系统，单片机有位寻址，没有 MMU。

1.2 单片机的发展及种类

1.2.1 单片机发展

从 20 世纪 70 年代单片机的出现，到今天各式各样的嵌入式微处理器、微控制器的大规模应用，嵌入式系统的出现最初是基于单片机的。70 年代单片机的出现，使得汽车、家电、工业机器、通信装置及成千上万种产品可以通过内嵌电子装置来获得更佳的使用性能、更容易使用、更快、更便宜。这些装置已经初步具备了嵌入式的应用特点，但是这时的应



用只是使用 8 位的芯片，执行一些单线程的程序，还谈不上“系统”的概念。

1971 年 11 月，Intel 公司成功地把算术运算器和控制器电路集成在一起，推出了第一款微处理器 Intel 4004，其后各厂商陆续推出了许多 8 位、16 位的微处理器，例如，Motorola 推出了 68HC05，Zilog 公司推出了 Z80 系列单板机。在 80 年代初，Intel 在单板机的基础上开发出了 MCS-48 单片机，在它的基础上研制成功了 MCS-51 单片机，这在单片机的历史上是值得纪念的一页。迄今为止，51 系列的单片机仍然是最为成功的单片机芯片之一，在各种产品中有着非常广泛的应用。早期的单片机均含有 256 B 的 RAM、4 KB 的 ROM、4 个 8 位并口、1 个全双工串行口、2 个 16 位定时器等。

1976 年 Intel 公司推出 Multibus，1983 年扩展为带宽达 40 Mbps 的 Multibus II。

1978 年由 Prolog 设计的简单 STD 总线广泛应用于小型嵌入式系统。

从 80 年代早期开始，嵌入式系统的程序员开始用商业级的“操作系统”编写嵌入式应用软件，这使得可以获取更短的开发周期、更低的开发成本和更高的开发效率，“嵌入式系统”真正出现了。确切地说，这个时候的操作系统是一个实时核，这个实时核包含了许多传统操作系统的特征，包括任务管理、任务间通信、同步与相互排斥、中断支持、内存管理等。其中，比较著名的有 Ready System 公司的 VRTX、Integrated System Incorporation (ISI) 的 PSOS 和 IMG 的 VxWorks、QNX 公司的 QNX 等。这些嵌入式操作系统都具有嵌入式的典型特点：它们均采用占先式的调度，响应时间很短，任务执行的时间可以确定；系统内核很小，具有可裁剪、可扩充和可移植性，可以移植到各种处理器上；较强的实时和可靠性，适合嵌入式应用。这些嵌入式实时多任务操作系统的出现，使得应用开发人员得以从小范围的开发解放出来，同时也促使嵌入式系统有了更为广阔的应用空间。

20 世纪 90 年代以后，在分布控制、柔性制造、数字化通信和信息家电等巨大需求的牵引下，嵌入式系统进一步加速发展。随着对实时性要求的提高，软件规模不断上升，实时核逐渐发展为实时多任务操作系统 (RTOS)，并作为一种软件平台逐步成为目前国际嵌入式系统的主流。除了上面的几家老牌公司以外，还出现了 Palm OS、WinCE、嵌入式 Linux、Lynx、Nucleux，以及国内的 Hopen、Delta OS 等嵌入式操作系统。

21 世纪无疑是一个网络的时代，未来的嵌入式设备为了适应网络发展的要求，必然要求硬件提供各种网络通信接口。新一代的嵌入式处理器已经开始内嵌网络接口，除了支持 TCP/IP 协议，还支持 IEEE1394、USB、CAN、Bluetooth 或 IrDA 通信接口中的一种或者几种，同时也需要提供相应的通信组网协议软件和物理层驱动软件。软件方面，系统内核支持网络模块，甚至可以在设备上嵌入 Web 浏览器，真正实现随时随地使用各种设备上网。

嵌入式系统早期主要应用于军事及航空、航天等领域，以后逐步广泛地应用于工业控制、仪器仪表、汽车电子、通信和家用消费类等领域。随着 Internet 的发展，新型的嵌入式



系统正朝着信息家电 (Information Appliance, IA) 和 3C (Computer, Communication & Consumer) 产品方向发展。

1.2.2 嵌入式处理器种类

嵌入式处理器是嵌入式系统的核心,是控制、辅助系统运行的硬件单元,其范围极其广阔,从最初的4位处理器,目前仍在大规模应用的8位单片机,到最新的受到广泛青睐的32位、64位嵌入式CPU。

目前,世界上具有嵌入式功能特点的处理器已经超过1000种,流行的体系结构包括MCU、MPU等30多个系列。鉴于嵌入式系统广阔的发展前景,很多半导体制造商都大规模生产嵌入式处理器,并且公司自主设计处理器也已经成为未来嵌入式领域的一大趋势。从单片机、DSP到FPGA,有着各式各样的品种,速度越来越快,性能越来越强,价格也越低。目前嵌入式处理器的寻址空间为64KB~1GB,处理速度最快可以达到2000MIPS,封装从8个引脚到324个引脚(如TI的ARM Cortex-A8 AM335x)不等。根据其现状,嵌入式处理器可以分成下面几类。

1. 嵌入式微控制器

嵌入式微控制器(Micro Controller Unit, MCU)的典型代表是单片机,从20世纪70年代末单片机的出现到今天,虽然已经有30多年的历史,但这种8位的电子器件目前在嵌入式设备中仍然有着极其广泛的应用。单片机芯片内部集成ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、看门狗、I/O、串行口、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash RAM、EEPROM等各种必要功能和外设。和嵌入式微处理器相比,微控制器的最大特点是单片化,体积大大减小,从而降低功耗和成本、提高可靠性。微控制器是目前嵌入式系统工业的主流,其片上外设资源一般比较丰富,适合于控制,因此称为微控制器。

由于MCU的价格低廉、功能优良,所以拥有的品种和数量最多,比较有代表性的包括MCS-51、MCS-151、MCS-251、MCS-96/196/296、P51XA、C166/167、68K、ARM Cortex-M3/M4/M7系列,以及MCU 8XC930/931、C540、C541,并且有支持I2C、CAN总线、LCD及众多专用MCU和兼容系列。目前MCU占嵌入式系统约70%的市场份额。近年来,Atmel出产的AVR单片机由于其集成了FPGA等器件,所以具有很高的性价比,势必推动单片机获得更高的发展。

2. 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器(Micro Processor Unit, MPU)是由通用计算机中的CPU演变而来的,其特征是具有32位以上的处理器,具有较高的性能,当然其价格也相应较高。与计算机处理器不同的是,在实际嵌入式应用中,MPU只保留和嵌入式应用紧密相关的功能硬件,去



除其他的冗余功能部分, 这样就以最低的功耗和资源实现嵌入式应用的特殊要求。和工业控制计算机相比, 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。目前主要的嵌入式处理器类型有 Am186/88、386EX、SC-400、Power PC、68000、MIPS、ARM/StrongARM/ARM Cortex 系列等, 其中 ARM/StrongARM/ARM Cortex-A 系列是专为手持设备开发的嵌入式微处理器, 属于中档的产品。

3. 嵌入式 DSP 处理器

嵌入式 DSP 处理器 (Embedded Digital Signal Processor, EDSP) 是专门用于信号处理领域的处理器, 在系统结构和指令算法方面进行了特殊设计, 具有很高的编译效率和指令的执行速度。在数字滤波、FFT、谱分析等各种仪器上, DSP 获得了大规模的应用。

DSP 的理论算法在 70 年代就已经出现, 但由于专门的 DSP 处理器还未出现, 所以这种理论算法只能通过 MPU 等分立元件实现。MPU 较低的处理速度无法满足 DSP 的算法要求, 其应用领域仅仅局限于一些尖端的高科技领域。随着大规模集成电路技术发展, 1982 年诞生了世界上首枚 DSP 芯片, 其运算速度比 MPU 快了几十倍, 在语音合成和编/解码器中得到了广泛应用。80 年代中期, 随着 CMOS 技术的进步与发展, 第二代基于 CMOS 工艺的 DSP 芯片应运而生, 其存储容量和运算速度都得到成倍提高, 成为语音处理、图像硬件处理技术的基础。80 年代后期, DSP 的运算速度进一步提高, 应用领域也从上述范围扩大到了通信和计算机方面。90 年代后期, DSP 发展到了第五代产品, 集成度更高, 使用范围也更加广阔。

目前最为广泛应用的是 TI 的 TMS320C2000/C5000 系列, 另外 Intel 的 MCS-296 和 Siemens 的 TriCore 也有各自的应用范围。

4. 片上系统

片上系统 (System on Chip, SoC) 追求的是产品系统最大包容的集成器件, 是目前嵌入式应用领域的热门话题之一。SoC 最大的特点是成功实现了软/硬件无缝结合, 直接在处理器片内嵌入操作系统的代码模块。SoC 具有极高的综合性, 在一个硅片内部运用 VHDL 等硬件描述语言, 实现一个复杂的系统。用户不需要再像传统的系统设计一样, 绘制庞大复杂的电路板, 一点点地连接焊制, 只须使用精确的语言, 综合时序设计直接在器件库中调用各种通用处理器的标准, 然后通过仿真之后就可以直接交付芯片厂商进行生产。由于绝大部分系统构件都在系统内部, 整个系统就特别简洁, 不仅减小了系统的体积和功耗, 而且提高了系统的可靠性和设计、生产效率。

由于 SoC 往往是专用的, 所以大部分都不为用户所知, 比较典型的 SoC 产品是 Philips 的 Smart XA。少数通用系列有 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。