

# 前 言

当各种消费类电子产品大量出现在市场的柜台上时，当人们手持各类微型电子产品享受着便捷的通信和娱乐服务的同时，把计算机技术移植到微型芯片内的技术为全世界创造出了几百亿美元的工业产值。这是一个奇迹，也是当代科技发展的必然趋势。

当然，这种技术是伴随着电子技术和计算机技术的快速发展而出现的，它是一种更为实用、占用体积更小、更高效的计算机系统，人们称之为嵌入式系统。它具有通用计算机系统所不能具有的代码量少、响应快、安全性高，特别是低成本、低功耗、高可靠性以及更容易配置等特点，逐渐使得这种技术成为电子产品设计开发的研究发展方向。目前，嵌入式系统的应用无处不在，例如从军事产品中的飞机、导弹、单兵作战装备到民用中的工业控制、医疗设备、办公自动化、仪表、家用电器，甚至到人们所穿的衣服中都嵌入了这种微型控制芯片。可以说，只要人们能想到的地方，都有它的应用。

但是，当人们的社会生活开始跨入高度的信息交互时代时，嵌入式系统的开发将面临着新的机遇，同时也对嵌入式开发人员提出了新的挑战。嵌入式开发是一门综合性很强、实践性很强的学科，开发和研究人员不仅要把眼光放在当前的开发和研究中，还应该多总结所从事的嵌入式系统的开发方法和技巧，多了解本行业应用中最新的理论和发展方向，只有这样才能开发出最新、最优的嵌入式产品。

## 本书内容

目前，图书市场上关于嵌入式无线系统的开发书籍不多，而且大多都是晦涩难懂的理论。本书的出现，将为想进入嵌入式无线领域的开发人员提供一个学习和借鉴的作用。本书共分为 10 章，第 1~3 章主要介绍嵌入式开发的特点和开发环境的使用；第 4~7 章主要介绍无线通信原理，包括红外线、GPRS 和蓝牙 3 个领域；第 8~10 章主要介绍无线通信嵌入式产品的软件开发技术，很多代码只需要稍加修改，就可以在实际的开发中进行使用。

本书由黄涛、白创、徐靖共同编写，在编写过程中，得到了姜振岳、丁锋、鲁立等同志的支持。在本书的编写过程中，还得到了很多专家的指导，并参考和借鉴了国内外大量的无线通信的文章和论文，在此一并表示感谢。

限于时间和水平，书中难免存在错误和不当之处，希望广大读者和专家指正、赐教。

作者

2007 年 5 月

# 目 录

## 丛书序

## 前 言

<b>第 1 章 嵌入式系统引论</b> .....	1
1.1 计算机系统的发展和应用.....	1
1.2 嵌入式系统.....	1
1.2.1 嵌入式系统的特点.....	2
1.2.2 嵌入式系统的应用.....	3
1.3 嵌入式系统的发展史.....	7
1.4 嵌入式系统的组成结构.....	9
1.4.1 嵌入式系统的硬件组成.....	9
1.4.2 嵌入式系统的软件组成.....	14
<b>第 2 章 8051 内核单片机</b> .....	20
2.1 8051 单片机简介.....	20
2.2 8051 指令系统介绍.....	27
2.3 8051 单片机的应用领域.....	29
2.4 8051 系列产品介绍.....	31
2.5 8051 开发环境.....	33
<b>第 3 章 ARM 微处理器</b> .....	36
3.1 ARM 微处理器简介.....	36
3.2 ARM 微处理器的应用领域.....	36
3.3 ARM 微处理器的特点.....	38
3.4 ARM 微处理器系列.....	39
3.4.1 ARM7 微处理器系列.....	40
3.4.2 ARM9 微处理器系列.....	41
3.4.3 ARM9E 微处理器系列.....	41
3.4.4 ARM10E 微处理器系列.....	43
3.4.5 基于 ARM 的 Intel 处理器.....	44
3.4.6 SecurCore 微处理器系列.....	44
3.5 ARM 微处理器的结构.....	44
3.5.1 ARM 微处理器的寄存器结构.....	45
3.5.2 ARM 微处理器的指令结构.....	48
3.5.3 ARM 微处理器的应用选型.....	51
3.6 ARM 开发环境.....	52
3.6.1 ADS1.2 集成开发使用流程简介.....	53
3.6.2 使用 CodeWarrior 建立工程并进行编译.....	53
3.6.3 AXD 仿真调试基本操作简介.....	56

<b>第 4 章 无线通信原理</b> .....	58
4.1 无线通信调制方式.....	58
4.1.1 模拟调制技术.....	58
4.1.2 数字调制方式.....	63
4.2 扩频技术.....	68
4.2.1 扩展频谱技术概述.....	68
4.2.2 扩频通信的几种工作方式.....	70
4.3 交换技术.....	72
4.3.1 电路交换技术.....	72
4.3.2 报文交换技术.....	73
4.3.3 分组交换技术.....	74
<b>第 5 章 红外线无线技术原理</b> .....	78
5.1 基本概念.....	78
5.2 发展历史及其应用前景.....	78
5.3 红外线遥控的实现.....	79
5.3.1 遥控发射器结构.....	79
5.3.2 HT6221 键码的形成过程.....	80
5.3.3 HT6221 键码的解码过程.....	82
5.4 红外线通信的实现.....	86
5.4.1 红外数据协议组织的介绍和发展历史.....	86
5.4.2 IrDA 特点.....	88
5.4.3 红外协议的基本结构.....	89
5.4.4 红外通信实现过程.....	91
<b>第 6 章 GPRS 基本原理</b> .....	94
6.1 概述.....	94
6.2 GPRS 的主要特点.....	95
6.3 GPRS 标准和业务的发展.....	96
6.4 GPRS 的优势和劣势.....	97
6.5 GPRS 的业务.....	98
6.5.1 基本通信业务.....	98
6.5.2 补充业务.....	99
6.6 GPRS 业务的具体应用.....	99
6.7 GPRS 系统结构.....	100
6.8 GPRS 系统的主要实体.....	102
<b>第 7 章 蓝牙无线通信技术原理</b> .....	104
7.1 关于蓝牙.....	104
7.1.1 蓝牙介绍.....	104
7.1.2 蓝牙的现状和发展前景.....	106
7.1.3 蓝牙技术的产品应用.....	107
7.1.4 蓝牙规范 1.2、2.0+EDR 与 2.1+EDR 简述.....	109
7.2 蓝牙技术原理.....	110

7.2.1	蓝牙基本术语和技术概要	110
7.2.2	蓝牙通信技术实现	110
7.2.3	蓝牙协议介绍	113
7.2.4	蓝牙规范浅析	116
<b>第 8 章</b>	<b>红外线应用实例精讲</b>	<b>125</b>
8.1	基于红外线的自动灌溉系统	125
8.1.1	系统控制软件设计流程图	125
8.1.2	程序代码分析	125
8.2	基于红外线的齿轮转速系统	144
8.2.1	系统控制软件设计流程图	144
8.2.2	程序代码分析	144
8.3	基于 $\mu\text{C}/\text{OSII}$ 的红外线应用	152
8.3.1	系统控制软件设计流程图	152
8.3.2	程序代码分析	152
8.4	基于 IrDA 红外线应用	160
8.4.1	红外线服务端程序代码分析	160
8.4.2	红外线客户端程序代码分析	164
<b>第 9 章</b>	<b>基于 ARM 的 GPRS 无线通信系统的设计</b>	<b>168</b>
9.1	系统设计概述	168
9.2	硬件结构设计	168
9.2.1	硬件结构设计概述	168
9.2.2	ARM9 模块	170
9.2.3	GPRS 模块	170
9.3	软件设计实现	177
9.3.1	GPRS 模块控制命令示例	177
9.3.2	实例一：基于 ARM9 和 GPRS 模块的无线数据传输应用系统	180
9.3.3	实例二：基于 GPRS 无线设备的串行设备的无线网络接入系统	204
9.3.4	实例三：基于 GPRS 数据终端的短信收发系统	227
9.3.5	超级终端配置	239
<b>第 10 章</b>	<b>蓝牙无线通信实例精讲</b>	<b>240</b>
10.1	蓝牙硬件的实现	240
10.1.1	蓝牙硬件体系结构	240
10.1.2	蓝牙模块介绍	242
10.2	蓝牙软件开发技术	243
10.2.1	蓝牙软件开发知识储备	244
10.2.2	蓝牙点点通信实验	256
10.3	蓝牙软件开发实例精析	270
10.3.1	CSR 蓝牙 RS-232 适配器设计示例	270
10.3.2	蓝牙耳机设计示例	288
10.3.3	CSR 蓝牙无线鼠标编程示例	316
10.4	BlueZ 的移植	321
<b>参考文献</b>		<b>326</b>

# 嵌入式系统引论

## 1.1 计算机系统的发展和應用

近几十年里，计算机技术在不断地飞速发展，计算机分类方法沿袭了约 40 多年。根据计算机的功能和使用的领域，整个计算机系统可以划分为 6 个大的部分，分别是超级计算机、巨型计算机、大型计算机、中型计算机、小型计算机和微型计算机。

计算机系统的分类如图 1-1 所示。

最初的超级计算机的性能在几十年后的今天，其计算能力、主频、体积和功耗利用率等方面已经远远落后于目前的微型计算机，并且这种整体性能的提升还在以更快的速度改变目前所定义的计算机系统分类。但是，至今以应用为目的计算机分类方法一直都没有变化，即通用计算机和嵌入式计算机。

通用计算机应用普遍，它可以装配通用的计算机应用软件，拥有通用的硬件接口。只要根据通用的协议和定义就可以生产通用计算机的硬件和软件，而不用考虑计算机的其他底层细节。最典型的通用计算机就是 PC 和个人笔记本计算机等。

嵌入式计算机与通用计算机的区别是嵌入式计算机的软件和硬件是同时绑定开发的，由于是一次性紧密结合形成的产品，在硬件和软件升级等方面都没有通用计算机优越，但是由于是有针对性的开发，在嵌入式应用领域具有通用计算机所没有的高性能和高专用性。典型的嵌入式计算机包括手机、PDA 等电子消费产品和工业控制用的控制板等。

超级计算机
巨型计算机
大型计算机
中型计算机
小型计算机
微型计算机

图 1-1 计算机系统分类

## 1.2 嵌入式系统

嵌入式计算机系统是针对具体的应用产生的一个重要的计算机系统，它依靠计算机技

术,把软件和硬件有机地结合到一起,裁减掉通用计算机具有的但与专业应用无关的冗余部分,提高应用系统的专用功能,满足应用中对功能、可靠性、成本、体积、功耗等的严格要求。上面的定义可概括为:嵌入式计算机系统就是为了实现某些特定要求而开发出来的计算机应用系统。嵌入式计算机系统在计算机本身的基础原理方面与通用计算机相比没有原理性的区别,但在技术上有其自身的一些特点。因此,嵌入式计算机不同于独立使用的计算机,也不同于在一个系统中作为信息枢纽与操作员频繁对话的计算机。它只在系统中完成某些局部功能,且用户一般无需把它作为一台计算机来对待,甚至不会感到它作为计算机而存在。

随着人们对计算需求的增加,嵌入式技术的应用形式也越来越多。随着我国信息化与全面小康社会的建设,对嵌入式系统市场产生巨大的需求,仅信息家电产品年需求量就在几亿台,而每一类数字化家电产品都有超过千万台市场的需求量,工业控制用嵌入式系统也有上百万套的需求量,商用嵌入式系统需求量超过几百万台。因此,嵌入式系统的应用在我国有巨大的发展潜力和市场需求。

嵌入式计算机是信息产业新的经济增长点,是振兴我国信息产业的突破口。有数据显示,2005年我国嵌入式计算机创造了超过百亿元的效益,到2008年,包括计算机、消费电子、通信、汽车、工业控制、政府行业等主要应用领域,嵌入式产品将达到80亿美元的市场规模。

目前,嵌入式系统已经在国防、国民经济及社会生活各领域普及应用,深入到企业、军队、办公室、实验室以及个人家庭等各种场所。小到电视机上的机顶盒,大到军队的通信装备、智能炸弹制导引爆等,都完全依赖嵌入式系统来实现。国内外的市场为我国嵌入式系统产业提供了大有可为的广阔天地。我国已有集成电路及板级产品的大批量生产能力,出口的嵌入式应用产品亦将逐步增多,在全球市场也可占有一席之地。

近年来我国信息产品取得了巨大进步,但是产品技术水平、市场占有率与国外发达国家及新兴发展中国家仍有很大差距,要迎头赶上必须走技术创新的路子。首先,要大力采用嵌入式系统,广泛采用微处理器微控制器及嵌入式软件,提高产品数字化智能化水平,提高产品的性能价格比;无论是改造旧产品还是发展新产品实现技术创新,嵌入式系统都是有效手段和得力工具,嵌入式系统为我们振兴民族信息产业提供了难得的机遇。

### 1.2.1 嵌入式系统的特点

嵌入式系统是在专用领域特定要求下执行的计算机应用系统,不同于通用计算机系统应用的多功能性和多应用性。嵌入式系统适用于应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统。

嵌入式系统的核心的是嵌入式微处理器,它与通用微处理器相比具有以下特点:

- 1 由于针对的应用变化万千,从而要求嵌入式微处理器具有可扩展的处理器结构,以便在不断变化的应用要求下以最快的速度开发出满足应用的最高性能的嵌入式微处理器。大多数嵌入式微处理器都集成部分常用的功能部件,例如A/D转换、LCD显示接口和内置小容量存储器等。
- 1 对实时响应和多任务调度有很高的要求,特别是工业级和航天级的应用要求处理器能完成多任务并且可在较短的时间内响应外部和内部的中断,从而使用户软件代码

执行的时间减少到最低范围之内。

- 1 嵌入式微处理器最突出的限制是要求功耗尽可能的低，嵌入式系统大多应用于便携式的无线和移动的微型计算和通信设备中，依靠电池供电的嵌入式系统更是如此，所需的功耗只有mW甚至 $\mu$ W级。
- 1 嵌入式微处理器由于嵌入式系统的软件结构已模块化，但是系统的可用存储容量比较少，为了避免在独立软件代码之间出现代码存储地址重叠，需要嵌入式微处理器本身具有功能很强的存储区数据保护功能，以保证在小容量的存储空间里尽可能稳定并快速运行多个实时软件代码。

嵌入式计算机系统与通用计算机系统相比具有如下特点：

- 1 嵌入式系统在制造过程中很多方面更需要依靠高于通用计算机制造所需要的计算机技术、半导体生产工艺、电子电路技术和通信网络技术。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。因此，它更能体现集成电路发展的最前沿，也更能满足各领域的具体应用。
- 1 嵌入式系统是面向特定应用的，通常具有低功耗、体积小、集成度高等特点，能够把通用CPU中许多由板卡完成的任务集成在芯片内部，从而有利于嵌入式系统设计趋于小型化，移动能力大幅增强，跟网络的耦合也越来越紧密。嵌入式系统的硬件组成相对较少，应用软件规模比较小而且单一，但是却能使它变成具有专用性强，系统组成精简实用，并能满足实时要求的不可替代的优秀产品。
- 1 嵌入式系统的硬件和软件精简且高效率，在保证稳定、安全、可靠的基础上量体裁衣、去除冗余，在同样的硅片面积上实现更高的性能。
- 1 嵌入式系统中的软件一般都固化在存储器芯片或处理器的内部存储器件中，从而提高了执行速度、系统可靠性和实时性。
- 1 嵌入式系统的开发是针对具体的应用，将其有机地结合在一起使它的升级换代时间周期相对较长，升级周期和具体应用需求的改变同步。
- 1 嵌入式系统是专用系统，一般不具有支持用户在自身平台上自行开发嵌入式软件的能力。需要在设计和开发中实现所有的功能，完成以后用户不能对其中的程序功能进行修改，只有在特定的交叉开发环境并使用特定的开发工具才能进行修改或开发。

### 1.2.2 嵌入式系统的应用

目前，在人们生活的各个领域，嵌入式系统具有非常广阔的应用前景，其应用领域大致可以分为下面几个部分。

(1) 消费电子产品。随着人们生活水平的不断提高和计算机技术的快速发展，各种各样的消费电子产品（见图 1-2）如智能手机、掌上计算机 PDA、MP3、MP4、数码相机、机顶盒、高清电视、DVD、家庭网关、可视电话等开始随着人们的需求不断涌现。网络化、智能化的消费电子产品引领人们的生活步入一个崭新的空间。即使不在家中，也可以通过电话、网络进行远程控制。消费电子产品将成为嵌入式系统最热门的应用领域，在这些设备中，嵌入式系统的应用将非常广泛。



图 1-2 消费电子产品

(2) 信息家电产品。信息家电是将数字技术和网络技术集成在电冰箱、洗衣机等传统家用电器上,从现有的移动通信设备及个人计算机中剥离出一些常用功能,与数字技术和网络技术紧密结合,将计算机和家电完善地融为一体,从而建立起家庭网络化环境。信息家电其内部构成包括嵌入式处理器、相关支持硬件(如显示卡、存储介质、IC卡或信用卡读取设备)、嵌入式操作系统以及应用层的软件包等。这种信息家电嵌入式系统减少了人机之间的技术障碍,突出了应用功能,既具备普通家电的优势(如操作简单、性能稳定、价格低廉、维护简便等),又能突出某些功能优势,不仅具有文字处理、图形处理、娱乐游戏功能,还可发送传真、收发电子邮件等。此外,信息家电在操作简易性上也下了很大功夫,对于一般信息需求的用户来说,具有相当的吸引力。图 1-3 所示为一款信息家电产品。



图 1-3 信息家电产品

(3) 家庭智能管理系统。随着嵌入式技术和信息技术的不断发展及相关技术的融合,出现了智能住宅系统并进入实用阶段。信息化家庭智能管理系统产品是包括小区中央管控系统、家庭信息管理控制系统、传感器(可燃气体、火灾、防盗等)、家电管理控制器(空调、照明、家电、出入控制)和电源控制单元的嵌入式自动化系统,如图 1-4 所示。通过具有嵌入式系统技术的专用控制芯片的电子产品配合无线门磁、无线报警器、紧急报警开关、红外探测器、烟雾探测器、可燃气体探测器等构成以家庭为基本单元的硬件代替传统的人工检查,实现了水、电、煤气表的远程自动抄表以及安全防火、防盗系统。这样既能实现更高、更准确和更安全的性能,又能很好地控制成本并避免人工实现过程中出现的麻烦。

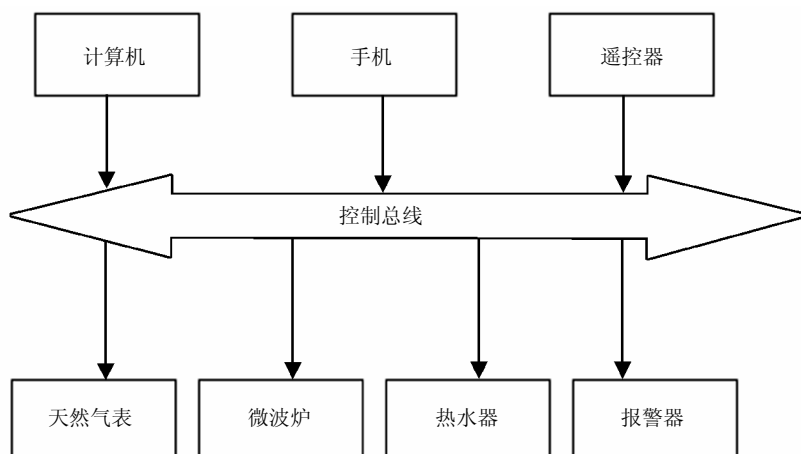


图 1-4 家庭智能系统

(4) 工业控制系统。人类在征服自然的过程中，自动控制技术起着极其重要的作用。自动控制技术的广泛应用，极大地提高了劳动生产率，提高了产品质量，改善了人们的生活水平和劳动条件。在现代科学技术高度发达的今天，自动控制技术不仅在工农业、国防、航空航天等领域中成为重要的组成部分，而且已渗透到非工程性领域（如生物学、社会经济），并起着越来越重要的作用。

基于嵌入式芯片的工业自动化设备具有很大的发展空间，目前已经有大量嵌入式控制器系统应用在工业过程控制、电网安全、电网设备检测、数控机床、电力系统、石油化工系统领域。但是，随着计算机技术的发展，拥有嵌入式微处理器的控制系统已经成为工业控制设备的核心。图 1-5 所示为部分工程控制器的外观。

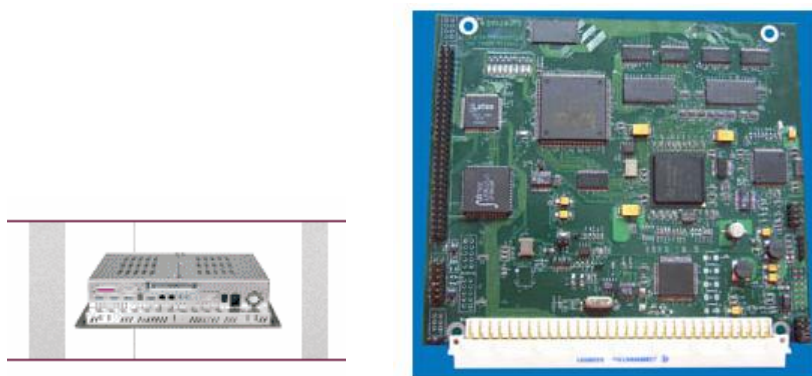


图 1-5 工程控制器

(5) 环境监测。环境监测是以环境为对象，运用物理的、化学的和生物的技术手段，对其中的污染物及其有关的组成成分进行定性、定量和系统地综合分析，以探索研究环境质量的变化规律。环境检测包括大气环境监测、水环境监测、土壤环境监测、固体废弃物监测、环境生物监测、环境放射性监测和环境噪声监测等。

在很多环境恶劣、地况复杂的地区，可通过嵌入式系统实施无人检测。在发展大型、自动、连续监测系统的同时，研究小型便携式、简易快速的监测技术也十分重要。例如，在污

染突发事故的现场会瞬时造成很大的伤害,此时由于空气扩散和水体流动,污染物浓度的变化十分迅速,大型仪器无法使用,因此便携式和快速测定技术就显得十分重要。通过嵌入式系统可完成对环境样品中污染物的组成进行鉴定和测试,通过对环境的监测能够准确、及时、全面地反映环境质量现状及发展趋势,为环境管理、污染源控制、环境规划等提供科学的依据。图 1-6 所示为一款环境监测产品。

(6) 机器人。机器人是一种自动化的机器,所不同的是这种机器具备一些与人或生物相似的智能,如感知能力、规划能力、动作能力和协同能力,是一种具有高度灵活性的自动化机器。嵌入式芯片的发展将使机器人在微型化、高智能方面优势更加明显,在大幅度降低机器人的价格后,它在工业领域和服务领域的应用将更加广泛。

嵌入式芯片的机器人技术综合了多学科的发展成果,代表了高技术的发展前沿,它在人类生产生活等领域的应用范围不断扩大,引起了国际上重新认识机器人技术的作用和影响。图 1-7 所示为一款机器人产品。



图 1-6 环境监测产品

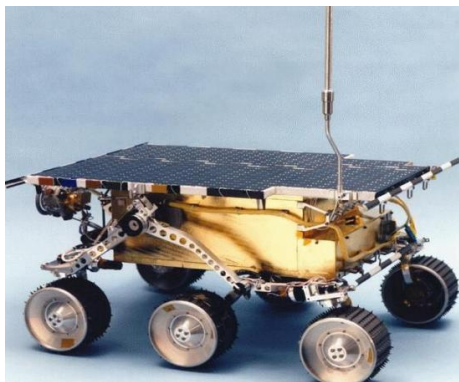


图 1-7 机器人产品

(7) 交通信息管理。嵌入式系统技术已经广泛地应用于车辆导航、道路车流量控制、道路信息状况监测和汽车服务等方面,尤其是内嵌 GPS 模块、GSM 模块的移动定位终端已经在各种运输行业获得了成功的应用。

(8) 军事应用。现代作战需要计算机“嵌入”到武器装备中,使武器系统更加智能化。技术的发展使得计算机可以很好地“嵌入”到武器装备中。作战需求和技术可能的互动,是军用嵌入式计算机得到快速发展的推动力。部分军用产品如图 1-8 和图 1-9 所示。



图 1-8 车载导航仪器



图 1-9 军用嵌入式计算机

(9) 其他应用领域。嵌入式系统在航空、航天、航海、医学等领域也发挥着重要的作用。图 1-10 所示为航空系统产品。



图 1-10 航空系统产品

总之，嵌入式系统已经深入到人们生活的各个方面，因此开发和研究嵌入式系统具有十分重要的意义。

### 1.3 嵌入式系统的发展史

随着半导体、微电子和计算机等技术的快速发展及广泛应用，处理芯片的体积、功耗和性能不断地优化，20 世纪 80 年代，出现了早期的嵌入式计算机系统。在过去的近 30 多年里，计算机技术、电子信息技术和网络等技术在不断地飞速发展，目前嵌入式计算机的各项技术指标也得到了巨大发展。

嵌入式系统的发展大致可分为以下几个阶段：

(1) 嵌入式系统的早期阶段。嵌入式系统起源于微型计算机时代，但是当时的微型计算机的体积、价位、可靠性都无法满足嵌入式应用要求，因此嵌入式系统开始发展独立的、特殊应用的道路。通过将计算机做在一个芯片上，开创了嵌入式系统独立发展的单片机时代。

以功能简单的专用计算机或单片机为核心的可编程控制器，具有自动控制、自动检测等功能。这种系统开始大量应用于工业控制、航空航天和军事等领域，但是这一时期的系统结构功能相对单一，处理效率较低，存储器容量较小，几乎没有用户接口，性能优势不明显，没有操作系统的支持，只是通过汇编语言直接进行编程控制，但是适合于各类专用的领域。

在以单片机为核心的嵌入式系统的发展道路中，早期探索阶段过程比较曲折，最开始是将通用计算机系统的基本单元进行裁剪后，集成在一个芯片上，构成单片微型计算机。但是，由于设计思想没有与通用计算机完全分开，导致在应用中许多技术指标不能达到基本要求。后来则完全按应用要求设计全新的、满足应用要求的体系结构、微处理器、指令系统、总线方式、管理模式等，最典型的就是 Intel 公司的 MCS-48、MCS-51。MCS-51 是在 MCS-48 探索基础上，进行全面完善的嵌入式系统。MCS-51 的体系结构也因此成为单片嵌入式系统的典型结构体系。历史证明，单片机开创了嵌入式系统独立发展的道路。

(2) 嵌入式系统的中期阶段。随着微电子技术、IC 设计、EDA 工具的发展,嵌入式系统开始应用到更复杂和更高要求的环境中。高性能嵌入式 CPU 和嵌入式操作系统阶段开始成为最基本嵌入式系统的组成部分。

高性能、低功耗的嵌入式微处理器,各类兼容性好、实时性高、内核小巧、可扩展性强、支持多任务、多种设备的商业嵌入式操作系统出现在此阶段并得到迅速的发展以满足高要求的应用环境,嵌入式应用开始更加灵活和强大起来。

(3) 嵌入式系统的成熟期阶段。嵌入式系统软、硬件技术有了很大提升的同时,开始朝可重复开发和多功能的方向发展,最具代表的就是 SoC 和网络应用。

SoC 的定义多种多样,由于其内涵丰富、应用范围广,一般将其称为片上系统。它是一个典型的嵌入式高级产品,是一个有专用目标的集成电路,其中包含完整系统并有嵌入软件的全部内容。SoC 用以实现从确定系统功能开始,到软/硬件划分,并完成设计的整个过程,它是信息系统核心的芯片集成,将系统关键部件集成在一块芯片上。SoC 是一个微小型系统,它将高性能微处理器、模拟 IP 核、数字 IP 核和存储器(或片外存储控制接口)集成在单一芯片上,这通常是客户定制的面向特定用途的标准产品。嵌入式片上系统应用非常广泛。

目前,无线数据通信使人们与信息的沟通真正实现了“随时随地”,Internet 的迅速发展带给人们的是一座无边无际的信息宝库。嵌入式系统的发展和应用的的需求促使信息领域中这两种发展最快的技术集成到一起,嵌入式系统是为数据的连接而架起的桥梁。在 Internet 和无线应用中,嵌入式系统扮演着一个非常重要的角色。因为植入了嵌入式系统,越来越多的产品和工业设备已经可以访问 Internet。

由于 Internet 领域里新技术的突飞猛进,嵌入式系统的功能也变得越来越强,并且其 Internet 访问功能也越来越完善,应用领域进一步扩大。目前的手机、数码相机、DVD、数字电视、路由器和交换机都是嵌入式系统。一部体积很小的手机不仅拥有通信功能,还拥有 PDA、照相、录音、上网、MP3 等功能,大多数豪华汽车每辆拥有约 50 个嵌入式处理器。

SoC(片上系统)结合 Internet 和无线应用技术已经成为目前主要的发展趋势,它使得嵌入式系统具有较高的可集成性,也使得嵌入式系统越来越小,成本越来越低,功耗越来越小,功能越来越强。

(4) 嵌入式系统的未来发展期阶段。未来嵌入式系统的发展趋势对嵌入式软件和硬件的设计提出了更高的要求。随着微电子工艺水平的不断提高,多芯片合成将是以后一个主要的发展方向,它通过在一块芯片上集成很多 IP 核,可以极大地提高处理器之间的信号传输速度和质量,同时也可以减少外围器件,优化设计。其中,不可忽视的是片上系统具有广阔的发展空间,它是多芯片方向的具体体现。

嵌入式系统的联网成为主流,为适应嵌入式分布处理结构和上网的要求,面向 21 世纪的系统要求配备标准的一种或多种网络通信接口。针对外部联网的要求,嵌入设备必须配有通信接口,并且需要 TCP/IP 协议簇软件的支持。

微电子技术的不断发展使嵌入式系统不断向小尺寸、低功耗和低成本方向发展。为了满足这种需求,以前嵌入式产品设计者不得降低处理器的性能,限制内存容量和复用接口芯片,来满足最低嵌入式应用的要求。而现在嵌入式系统要求在满足开发应用要求的同时,不断提高性能是其未来一直需要发展和提高的方向和目标。

嵌入式系统以后会提供更加丰富的、友好的多媒体人机界面。嵌入式系统之所以得到快

速的发展,其中一个原因是很多嵌入式系统都逐渐提供丰富的人机界面。这一切都需要丰富的 GUI 库支持,同时对具体图形设备的驱动程序也要有所了解。未来人机界面的发展也是嵌入式系统需要不断创新和完善的方向。

由此可见,嵌入式系统现在已经进入了一个高速发展的时期,已经逐渐渗透到社会的各个领域。在不久的将来,高性能嵌入式系统将通过人性化的交互界面以及与网络技术的完美结合在远程控制与智能电子上大有可为。

## 1.4 嵌入式系统的组成结构

嵌入式系统通常由嵌入式处理器、嵌入式外围设备、嵌入式操作系统和嵌入式应用软件等几大部分组成,如图 1-11 所示。

与通用的计算机系统一样,嵌入式系统也是由硬件和软件两大部分组成的。硬件是整个系统的物理基础,它提供软件的运行平台和通信(包括人机交互)接口;软件用于控制系统的运行,按照用户的要求实现相关环境的应用。

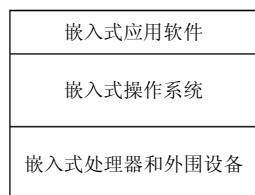


图 1-11 嵌入式系统组成

### 1.4.1 嵌入式系统的硬件组成

嵌入式系统的硬件一般包括处理器、存储器、外设器件和电源等。

#### 1. 嵌入式处理器

嵌入式处理器是用于在微机设备中提供功能性的计算机芯片,它经常用于控制和监控领域,是嵌入式系统硬件中最核心的部分。据世界半导体贸易统计数据蓝皮书中的审计报告显示,目前全世界嵌入式处理器的品种总量已经超过 1 000 种,流行的体系结构有 30 多个系列。其中 8051 体系占多半,生产这种单片机的半导体厂家有 20 多个,共 350 多种衍生产品,仅 Philips 公司就有近 100 种。现在几乎每个半导体制造商都生产嵌入式处理器。嵌入式处理器的寻址空间一般为 64KB~16MB,处理速度为 0.1~2 000MIPS,具有 8~144 个引脚。从单位销售额角度看,Intel 公司的 Pentium 系统、Advanced Micro Devices 公司的 Athlon 以及 IBM 和 Motorola 公司的 PowerPC 等处理器的市场份额只占世界市场的 6%,余下的 94%,即 50 亿片芯片为嵌入式处理器。



图 1-12 嵌入式处理器分类

目前,嵌入式处理器可以大致分成 4 类,如图 1-12 所示。

(1) 嵌入式片上系统。由于信息市场的需求和微电子自身的发展,集成电路特征尺寸不断缩小,引发了以微细加工为主要特征的多种工艺集成技术和面向应用的系统级芯片的发展。随着半导体产业进入超深亚微米(UDSM)乃至纳米加工时代,在单一集成电路芯片上就可以实现一个复杂的电子系统,诸如手机芯片、数字电视芯片、DVD 芯片等。在未来几年内,上亿个晶体管、几千万个逻辑门都可在单一芯片上实现,这就产生了 SoC 技术。

系统级芯片的形成或产生过程包含以下几个方面：

- 1 基于单片集成系统的软/硬件协同设计和验证。
- 1 利用逻辑面积技术使用和产能占有比例开发和研究IP核生成及复用技术，特别是大容量的存储模块嵌入的重复应用等。
- 1 超深亚微米、纳米集成电路的设计理论和技术。

各种通用处理器内核将作为 SoC 设计公司的标准库，与其他许多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、Verlog 等硬件语言描述，存储在器件库中。用户只需定义出整个应用系统，仿真通过后就可以将设计图交给半导体工厂制作样品。这样，除某些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，应用系统电路板将变得很简单，对于减小整个应用系统的体积和功耗、提高可靠性非常有利。图 1-13 所示为 ARM 9 片上系统处理器。

当前芯片设计业正面临着一系列的挑战，系统芯片 SoC 已经成为 IC 设计业界的焦点，SoC 性能越来越强，规模越来越大。SoC 芯片的规模一般远大于普通的 ASIC，同时由于超深亚微米工艺带来的设计困难等，使得 SoC 设计的复杂度大幅提高。在 SoC 设计中，仿真与验证是 SoC 设计流程中最复杂、最耗时的环节，约占整个芯片开发周期的 50%~80%。采用先进的设计与仿真验证方法成为 SoC 设计成功的关键。SoC 技术的发展趋势是基于 SoC 开发平台，基于平台的设计是一种可以达到最大程度系统重用的面向集成的设计方法，分享 IP 核开发与系统集成成果，不断重整价值链，在关注面积、延迟、功耗的基础上，向成品率、可靠性、EMI 噪声、成本、易用性等方向转移，使系统级集成能力快速发展。

(2) 嵌入式微处理器。尽管有几千种现成的芯片可供选择，但是许多产品的设计者都需要一些与众不同的特性。因此，他们开发自己的嵌入式芯片，即所谓的专用处理器。嵌入式微处理器采用“增强型”通用微处理器。由于嵌入式系统通常应用于环境比较恶劣的环境中，因此嵌入式微处理器在工作温度、电磁兼容性以及可靠性方面的要求比通用的标准微处理器要高。设计人员开始设计专用嵌入式芯片时需要从某家半导体设计公司取得嵌入式微处理器内核的授权，然后添加自己所需的特性。对于数字照相机处理器来说，可以为电荷耦合设备的芯片添加一个控制器；对于具有 Internet 功能的家电处理器来说，可以添加一个网络接口。

但是，嵌入式微处理器在功能方面与通用的微处理器原理基本上是一样的。根据实际嵌入式应用要求，将嵌入式微处理器装配在专门设计的主板上，只保留和嵌入式应用有关的主板功能，这样可以大幅度减小系统的体积和功耗。与通用计算机相比，嵌入式微处理器组成的系统具有体积小、重量轻、成本低、可靠性高等优点。由嵌入式微处理器及其存储器、总

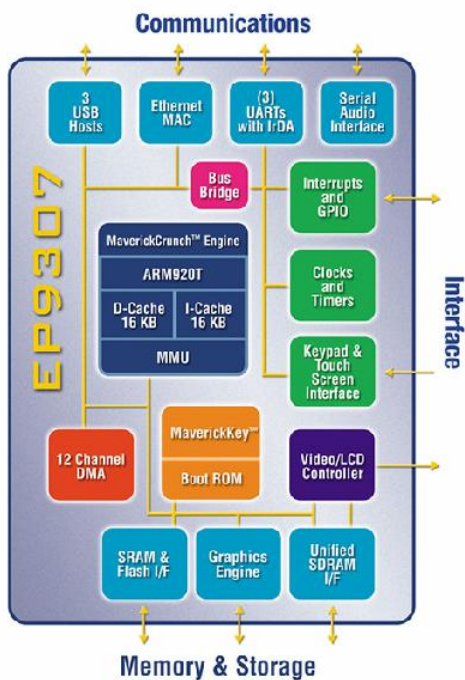


图 1-13 ARM 9 片上系统处理器

线、外设等安装在一块电路主板上构成一个通常所说的单板机系统。嵌入式处理器目前主要有 Am186/88、386Ex、SC-400、PowerPC、68000、MIPS 和 ARM 系列等。图 1-14 所示为 CS42406 微处理器芯片。



图 1-14 CS42406 微处理器芯片

(3) 嵌入式 DSP 处理器。DSP 处理器是专门用于数字信号处理方面的处理器，在数字信号处理应用中，各种数字信号处理算法相当复杂，一般结构的处理器无法实时地完成这些运算。由于 DSP 处理器对系统结构和指令进行了特殊设计，具有很高的编译效率和指令执行速度，使其适合于实时地进行数字信号处理。在数字滤波、FFT、谱分析等方面，DSP 算法正大量进入嵌入式领域，DSP 应用正从在通用单片机中以普通指令实现 DSP 功能，过渡到采用嵌入式 DSP 处理器。

世界上第一个单片 DSP 芯片是 1978 年 AMI 公司发布的 S2811，1979 年美国 Intel 公司发布的商用可编程芯片 2920 是 DSP 芯片的一个主要里程碑。这两种芯片内部都没有现代 DSP 芯片所必须的单周期芯片。1980 年，日本 NEC 公司推出的  $\mu$ PD7720 是第一个具有乘法器的商用 DSP 芯片。第一个采用 CMOS 工艺生产浮点 DSP 芯片的是日本的 Hitachi 公司，它于 1982 年推出了浮点 DSP 芯片。1983 年，日本的 Fujitsu 公司推出的 MB8764，其指令周期为 120ns，且具有双内部总线，从而处理的吞吐量发生了一个大的飞跃。而第一个高性能的浮点 DSP 芯片应是 AT&T 公司于 1984 年推出的 DSP32。

嵌入式 DSP 处理器有两类：

- 1 DSP 处理器经过单片化和增加片上外设成为嵌入式 DSP 处理器，TI 公司的 TMS320C200/C5000 等就属于此范畴。
- 1 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。

另外，在有关智能方面的应用中，也需要嵌入式 DSP 处理器，例如各种带有智能逻辑的消费类产品、生物信息识别终端、带有加/解密算法的键盘、ADSL 接入、实时语音解压系统、虚拟现实显示等。这类智能化算法一般运算量较大，特别是向量运算、指针线性寻址等较多，而这些正是 DSP 处理器的优势所在。

自 1980 年以来，DSP 芯片得到了突飞猛进的发展，DSP 芯片的应用越来越广泛。从运算速度来看，MAC（一次乘法和一次加法）时间已经从 20 世纪 80 年代初的 400ns（如 TMS32010）降低到 40ns（如 TMS32C40），处理能力提高了 10 多倍。DSP 芯片内部关键的乘法器部件从 1980 年的占模区的 40 左右下降到 5 以下，片内 RAM 增加 10 倍以上。从制造工艺来看，1980 年采用 4 $\mu$ m 的 N 沟道 MOS 工艺，而现在则普遍采用亚微米 CMOS 工艺。DSP 芯片的引脚数量从 1980 年的最多 64 个增加到现在的 200 个以上，引脚数量的增加，意味着结构灵活性的增加。此外，DSP 芯片的发展，使 DSP 系统的成本、体积、重量和功耗都有很大程度的下降。

在这么多的 DSP 芯片种类中，最成功的是美国德克萨斯仪器公司（Texas Instruments, TI）的一系列产品。TI 公司于 1982 年成功推出启迪一代 DSP 芯片 TMS32010 及其系列产品 TMS32011、TMS32C10/C14/C15/C16/C17 等，之后相继推出了第二代 DSP 芯片 TMS32020、TMS320C25/C26/C28，第三代 DSP 芯片 TMS32C30/C31/C32，第四代 DSP 芯片 TMS32C40/C44，第五代 DSP 芯片 TMS32C50/C51/C52/C53 以及集多个 DSP 于一体的高性能 DSP 芯片 TMS32C80/C82 等。图 1-15 所示为一款 DSP 微处理器芯片。

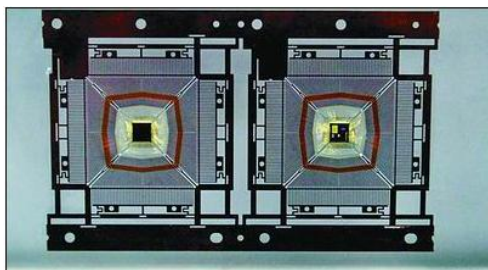


图 1-15 DSP 微处理器芯片

（4）嵌入式微控制器。嵌入式微控制器的典型代表是单片机，它将整个计算机系统集成到一块芯片中。

嵌入式微控制器一般以某种微处理器内核为核心，根据某些典型的应用，在芯片内部集成了 ROM/EPROM、RAM、总线、总线逻辑、定时/计数器、I/O、串行 G、脉宽调制输出、A/D、D/A、Flash RAM、EEPROM 等各种必要功能部件和外设。为适应不同的应用需求，对功能的设置和外设的配置进行了必要的修改和裁减定制，使得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相同，不同的是存储器和外设的配置及功能的设置。这样可以使单片机最大限度地和应用需求相匹配，从而减少整个系统的功耗和成本。

与嵌入式微处理器相比，微控制器的单片化使应用系统的体积大幅减小，从而使功耗和成本大幅度下降，可靠性提高。嵌入式微控制器目前在产品的品种和数量上是所有种类嵌入式处理器中最多的，而且上述诸多优点决定了微控制器是嵌入式系统应用的主流。微控制器的片上外设资源一般比较丰富，适合于控制，因此称为微控制器。

微控制器主要有 Motorola 单片机、ATMEL 公司的 AVR 单片机、MicroChip 单片机和 8051 单片机等。

Motorola 是世界上最大的单片机厂商，从 M6800 开始，开发了众多品种，4 位、8 位、16 位、32 位的单片机都能生产，其中典型的代表有 8 位机 M6805、M68HC05 系列、8 位增

强型 M68HC11、M68HC12、16 位机 M68HC16、32 位机 M683XX。Motorola 单片机的特点之一是在同样的速度下所用的时钟频率较 Intel 类单片机低得多，因而使得高频噪声低，抗干扰能力强，更适合于工控领域及恶劣的环境。

ATMEL 公司的 AVR 单片机，是增强型 RISC 内载 Flash 的单片机，芯片上的 Flash 存储器附在用户的产品中，可随时编程，再编程，使用户的产品设计更加容易，更新换代更加方便。AVR 单片机采用增强的 RISC 结构，使其具有高速处理能力，在一个时钟周期内可执行复杂的指令，每 MHz 可实现 1MIPS 的处理能力。

MicroChip 单片机的主要产品是 PIC 16C 系列和 17C 系列 8 位单片机，CPU 采用 RISC 结构，分别仅有 33、35、58 条指令，采用 Harvard 双总线结构，运行速度快，工作电压低，功耗低，具有较大的输入/输出直接驱动能力，价格低，一次性编程，体积小。适用于用量大，档次低，价格敏感的产品。PIC 系列单片机在世界单片机市场份额排名中逐年提高，发展非常迅速。

8051 单片机最早由 Intel 公司推出，其后，多家公司购买了 8051 的内核，使得以 8051 为内核的 MCU 系列单片机在世界上产量最大，应用也最广泛。有人推测 8051 可能最终形成事实上的标准 MCU 芯片。图 1-16 所示为一款 AT89C51 微控制器芯片。



图 1-16 AT89C51 微控制器芯片

## 2. 嵌入式外围设备

这里所说的嵌入式外围设备，指在一个嵌入式硬件系统中，除了中心控制部件（MCU、DSP、EMPU、SoC）以外的完成存储、通信、保护、调试、显示等辅助功能的其他部件。根据外围设备的功能可分为以下三类：

(1) 存储器。存储器是计算机的重要组成部分之一，用来存储程序和数据，表明了计算机的“记忆”功能。图 1-17 所示为存储器芯片组。

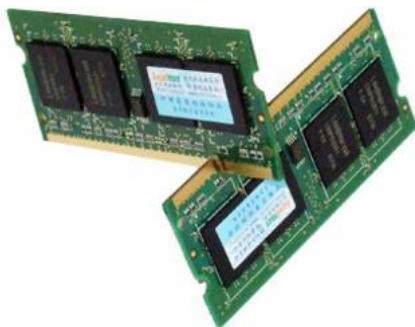


图 1-17 存储器芯片组