

第1章

绪论

1.1 单片机基础知识

1.1.1 单片机的结构和特点

根据美籍匈牙利科学家冯·诺依曼提出的存储原理，一个完整的计算机包括运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备五大部件。如果把运算器和控制器集成在一块芯片上，就构成了中央处理器（CPU）。若将中央处理单元（CPU）、存储器（RAM、ROM）、并行 I/O、串行 I/O、定时器/计数器、中断系统、系统时钟电路及系统总线等部件集成在一块芯片上，就构成了单片微型计算机（Single Chip Microcomputer），简称单片机。

单片机使用时，通常是处于测控系统的核心地位并嵌入其中，所以国际上通常把单片机称为嵌入式控制器（Embedded MicroController Unit, EMCU）或微控制器（MicroController Unit, MCU）。我国习惯于使用“单片机”这一名称。单片机是计算机技术发展史上的一个重要里程碑，标志着计算机正式形成了通用计算机系统和嵌入式计算机系统两大分支。单片机具有下列特点。

体积小、成本低：可嵌入到工业控制单元、机器人、智能仪器仪表、汽车电子系统、武器系统、家用电器、办公自动化设备、金融电子系统、玩具、个人信息终端及通信产品中。

高可靠性：单片机把各功能部件集成在一块芯片上，内部采用总线结构，减少了各芯片之间的连线，大大提高了单片机的可靠性与抗干扰能力。另外，其体积小，对于强磁场环境易于采取屏蔽措施，适合在恶劣环境下工作。

控制功能强：为了满足工业控制的要求，一般单片机的指令系统中均有极丰富的转移指令、I/O 接口的逻辑操作及位运算指令。单片机的逻辑控制功能及运行速度均高于同一档次的微机。

低功耗、低电压，便于生产便携式产品。

外部总线增加了 I²C 及 SPI 等串行总线方式，进一步缩小了体积，简化了结构。

单片机的系统扩展和系统配置较典型、规范，容易构成各种规模的应用系统。

单片机根据目前的发展情况，单片机大致可以分为通用型/专用型、总线型/非总线型及工控型/家电型。

通用型/专用型：其内部可开发的资源（如存储器、I/O 等各种外围功能部件等）可全部提供给用户。用户根据需要，设计一个以通用单片机芯片为核心，再配以外围接口电路及其他外围设备，并编写相应的软件来满足各种不同需要的测控系统。通常所说的和本书介绍的是指通用型单片机。由于特定用途，单片机芯片制造商常与产品厂家合作，设计和生产“专用”的单片机芯片。由于在设计中，已经对“专用”单片机的系统结构最简化、可靠性和成本的最佳化等方面都

做了全面的综合考虑,“专用”单片机具有十分明显的综合优势。例如,为了满足电子体温计的要求,在片内集成 ADC 接口等功能的温度测量控制电路。无论“专用”单片机在用途上有多么“专”,其基本结构和工作原理都是以通用单片机为基础的。

总线型/非总线型:总线型单片机普遍设置有并行地址总线、数据总线、控制总线,这些引脚用以扩展并行外围器件。但是,外围器件也可通过串行口与单片机连接,另外,许多单片机已把所需的外围器件及外设接口集成于片内,因此在许多情况下可以不要并行扩展总线,大大降低封装成本和缩小芯片体积,这类单片机称为非总线型单片机。

工控型/家电型:这是按照单片机大致应用的领域进行区分的。一般而言,工控型寻址范围大,运算能力强;用于家电的单片机多为专用型,通常是小封装、低价格,外围器件和外设接口集成度高。

单片机系统以单片机为核心,配以控制、输入/输出、显示等外围电路和相应的控制软件,即由硬件和软件构成。硬件是应用系统的基础,软件是在硬件的基础上合理安排及使用系统资源,实现系统功能,两者缺一不可,相辅相成。由于单片机实质上是一个芯片,在实际应用中大都嵌入到控制系统中,所以单片机系统也称嵌入式系统。

1.1.2 单片机的发展

单片机作为微型计算机的一个重要分支,应用面很广,发展很快。自单片机诞生至今,已发展为上百种系列的近千个机种。如果将 8 位单片机的推出作为起点,那么单片机的发展大致经历了 4 个阶段。

(1) 第一阶段(1976—1978 年):单片机的探索阶段。以 Intel 公司的 MCS-48 为代表。MCS-48 的推出是在工控领域的探索,参与这一探索的公司还有 Motorola、Zilog 等,都取得了满意的效果。这就是 SCM 的诞生年代,“单片机”一词由此而来。

(2) 第二阶段(1978—1982 年):单片机的完善阶段。Intel 公司在 MCS-48 基础上推出了完善的、典型的单片机系列 MCS-51。它在以下几个方面奠定了典型的通用总线型单片机体系结构:

完善的外部总线。MCS-51 设置了经典的 8 位单片机的总线结构,包括 8 位数据总线、16 位地址总线、控制总线及具有多机通信功能的串行通信接口。

CPU 外围功能单元的集中管理模式。

体现工控特性的位地址空间及位操作方式。

指令系统趋于丰富和完善,并且增加了许多突出控制功能的指令。

(3) 第三阶段(1982—1990 年):8 位单片机的巩固发展及 16 位单片机的推出阶段,也是单片机向微控制器发展的阶段。Intel 公司推出的 MCS-96 系列单片机,将一些用于测控系统的模数转换器、程序运行监视器、脉宽调制器等纳入片中,体现了单片机的微控制器特征。随着 MCS-51 系列的广泛应用,许多电气厂商竞相以 80C51 为内核,将许多测控系统中使用的电路技术、接口技术、多通道 A/D 转换部件、可靠性技术等应用到单片机中,增强了外围电路的功能,强化了智能控制的特征。

(4) 第四阶段(1990 年至今):微控制器的全面发展阶段。随着单片机在各个领域全面深入的发展和运用,出现了高速、大寻址范围、强运算能力的 8 位/16 位/32 位通用型单片机,以及小型廉价的专用型单片机。

1.1.3 单片机芯片技术的发展趋势

目前,单片机的发展趋势将是向大容量、高性能化,外围电路内装化等方面发展,主要表现在以下几个方面。

1. 高性能化

高性能化主要是指进一步改进 CPU 的性能, 加快指令运算的速度和提高系统控制的可靠性。采用精简指令集 (RISC) 结构和流水线技术, 可以大幅度提高运行速度。现指令速度最高者已达 100MIPS, 并加强了位处理功能、中断和定时控制功能。这类单片机的运算速度比标准的单片机高出 10 倍以上。由于这类单片机有极高的指令速度, 就可以用软件模拟其 I/O 功能, 由此引入了虚拟外设的新概念。

2. 存储器大容量化

(1) 片内程序存储器 ROM 普遍采用闪烁 (Flash) 存储器。可不用外扩展程序存储器, 简化系统结构。目前的单片机片内程序存储器 ROM 容量可达 128KB 甚至更多。

(2) 加大片内数据存储 RAM 容量, 以满足动态存储的需要。

3. 片内 I/O 的改进

(1) 增加并行口驱动能力, 以减少外部驱动芯片。有的单片机可以直接输出大电流和高电压, 以便能直接驱动 LED 和 VFD (荧光显示器)。

(2) 有些单片机设置了一些特殊的串行 I/O 功能, 为构成分布式、网络化系统提供了方便条件。

(3) 引入数字交叉开关, 改变了以往片内外设与外部 I/O 引脚的固定对应关系。交叉开关是一个大的数字开关网络, 可通过编程设置交叉开关控制寄存器, 将片内的计数器/定时器、串行口、中断系统、A/D 转换器等片内外设灵活配置出现在端口 I/O 引脚。这就允许用户根据自己的特定应用, 将内部外设资源分配给端口 I/O 引脚。

4. CMOS 化、低功耗、低电压

(1) CMOS 化: CMOS 芯片除了低功耗、高密度、低速度、低价格特性之外, 还具有功耗的可控性, 使单片机可以工作在功耗精细管理状态。这也是以 80C51 取代 8051 为标准 MCU 芯片的原因。采用双极型半导体工艺的 TTL 电路速度快, 但功耗和芯片面积较大。随着技术和工艺水平的提高, 又出现了 HMOS (高密度、高速度 MOS) 和 CHMOS 工艺。目前生产的 CHMOS 电路已达到 LSTTL 的速度, 传输延迟时间小于 2ns, 它的综合优势已先于 TTL 电路。因而, 在单片机领域 CMOS 正在逐渐取代 TTL 电路。

(2) 低功耗、低电压: 现在新型单片机的功耗越来越低, 配置有等待、暂停、睡眠、空闲、节电等工作方式。消耗电流仅在 μA 或 nA 量级, 使用电压 3~6V, 完全适应电池工作。低电压供电的单片机电源下限已可达 1~2V。目前 0.8V 供电的单片机已经问世。低功耗化的效应不仅是功耗低, 而且带来了产品的高可靠性、高抗干扰能力以及产品的便携化。

5. 外设电路内装化

众多外围电路集成在片内, 系统的单片化是目前发展趋势之一。例如, 美国 Cygnal 公司的 C8051F020 8 位单片机, 内部采用流水线结构, 大部分指令的完成时间为 1 或 2 个时钟周期, 峰值处理能力为 25MIPS。片上集成有 8 通道 A/D、两路 D/A、两路电压比较器, 内置温度传感器、定时器、可编程数字交叉开关和 64 个通用 I/O 口、电源监测、看门狗、多种类型的串行接口 (两个 UART、SPI) 等。一片芯片就是一个“测控”系统。

6. 编程及仿真的简单化

目前大多数的单片机都支持程序的在线编程, 也称在系统编程 (In System Program, ISP), 只需一条 USB-ISP 串口下载线, 就可以把仿真调试通过的程序从 PC 写入单片机的 Flash 存储器

内,省去编程器。某些机型还支持在线应用编程(IAP),可在线升级或销毁单片机的应用程序,省去了仿真器。

7. 实时操作系统的使用

51 单片机可配置实时操作系统 RTX51。RTX51 是一个针对 8051 系列的多任务内核。从本质上简化了对实时事件反应速度要求较高的复杂应用的系统设计、编程和调试。RTX51 实时内核完全集成到 C51 编译器中,使用简单方便。

8. 单片机应用的可靠性技术发展

近年来,单片机的生产厂家在单片机设计上采用了各种提高可靠性的新技术,这些新技术表现在如下几点。

(1) EFT (Electrical Fast Transient) 技术:在振荡电路的正弦信号受到外界干扰时,其波形上会叠加各种毛刺信号,如果使用施密特电路对其整形,则毛刺会成为触发信号而干扰正常的时钟,EFT 技术交替使用施密特电路和 RC 滤波电路,消除这些毛刺,从而保证系统的时钟信号正常工作,提高了系统可靠性。Motorola 公司的 MC68HC08 系列单片机就采用了这种技术。

(2) 低噪声布线技术及驱动技术:在传统的单片机中,电源及地线是在集成电路外壳的对称引脚上,一般是在左上、右下或右上、左下的两对对称点上,这样会使电源噪声穿过整块芯片,对单片机的内部电路造成干扰。现在,很多单片机都把地和电源引脚安排在两个相邻的引脚上,不仅降低了穿过整个芯片的电流,另外还便于在印制电路板上布置去耦电容,从而降低系统的噪声。

采用“跳变沿软化技术”,降低片内大电流驱动电路所产生的噪声。将多个小管子并联等效一个大管子,并在每个小管子的输出端串联上不同等效阻值的电阻,以降低 di/dt ,从而消除大电流瞬变时产生的噪声。

(3) 采用低频时钟:高频外时钟是噪声源之一,不仅能对单片机应用系统产生干扰,还会对外界电路产生干扰,令电磁兼容性不能满足要求。对于要求可靠性较高的系统,低频外时钟有利于降低系统的噪声。在一些单片机中,内部采用锁相环技术,在外部时钟频率较低时,也能产生较高的内部总线速度,从而提高了速度又降低了噪声。Motorola 公司的 MC68HC08 系列及其 16/32 位单片机就采用了这种技术以提高可靠性。

1.2 单片机应用

1.2.1 单片机应用方向

在日常生活、生产等领域,凡是有自动控制要求的地方,都会有单片机的影子,其应用已经相当普及。单片机的应用有利于系统的小型化、智能化及多功能化,从根本上改变了传统控制系统的设计思想和设计方法。以前必须用模拟电路或数字电路实现的大部分功能,现在已能用单片机通过软件方法来实现。用软件代替部分硬件,使系统软化并提高性能,是传统控制技术的一次革命。

单片机的应用具有软件和硬件相结合的特点,因而设计者不但要熟练掌握单片机的编程技术,还要有较强的单片机硬件方面的知识。由于单片机具有显著的优点,它已成为科技领域的有力工具、人类生活的得力助手。单片机的应用已遍及各个领域,主要表现在以下几个方面。

1. 智能仪表

单片机广泛地用于各种仪器仪表,使仪器仪表智能化,集测量、处理、控制功能于一体,并提高测量的自动化程度和精度,简化仪器仪表的硬件结构,提高其性能价格比。这些特点不仅使传统的仪器仪表发生了根本的变革,也给仪器仪表行业技术改造带来曙光。

2. 机电一体化

机电一体化是机械工业发展的方向。机电一体化产品是指集成机械技术、微电子技术、计算机技术于一体,具有智能化特征的机电产品。例如,微机控制的车床、钻床,采用单片机可提高其可靠性,增强系统功能,降低控制成本。单片机作为机电产品的控制器,能充分发挥其体积小、可靠性高、功能强等优点,大大提高机电产品的自动化、智能化程度。

3. 实时控制

单片机广泛用于各种实时控制的系统中。例如,工业控制系统、自适应控制系统、数据采集系统等各种实时控制系统,都可以用单片机作为控制器。单片机的实时数据处理能力和控制功能,可使系统保持在最佳工作状态,提高系统的工作效率和产品质量。

4. 分布式多机系统

在复杂的控制系统中,常采用分布式多机系统。多机系统由若干台功能各异的单片机组成,各自完成特定的任务,它们之间通过串行通信相互联系、协调工作。单片机在这种系统中往往作为一个终端机,安装在系统的某些节点上,对现场信息进行实时的测量和控制。单片机的高可靠性和强抗干扰能力,使它可以置于恶劣环境的前端工作。

5. 人类生活

自从单片机诞生以后,它就步入了人类生活,如洗衣机、电冰箱、电子玩具、收录机等家用电器。家用电器配上单片机以后,提高了智能化程度,增加了功能,使人类生活更加方便、舒适、丰富多彩。

6. 智能接口

计算机系统有许多外部通信、采集、多路分配管理、驱动控制等接口。这些接口及其所连接的外部设备如果完全由主机进行管理,势必造成主机负担过重,降低运行速度。用单片机进行接口的控制与管理,单片机与主机可并行工作,可大大提高系统的运行速度。

21世纪是全人类进入计算机时代的世纪,许多人不是在制造计算机便是在使用计算机。在使用计算机的人们中,只有从事嵌入式系统应用的人才真正地进入到计算机系统的内部软硬件体系中,才能真正领会计算机的智能化本质并掌握智能化设计的知识。从学习单片机应用技术入手是掌握计算机应用软硬件技术的最佳方法之一。

1.2.2 单片机应用系统的分类

按照单片机系统扩展与系统配置状况,单片机应用系统可分为最小应用系统、最小功耗应用系统、典型应用系统等。

1. 最小应用系统

最小应用系统是指能维持单片机运行的最简单配置的系统,如开关状态的输入/输出控制等。片内有 ROM/EPROM/Flash 的单片机,其最小应用系统即为配有晶振、复位电路、电源、简单的 I/O 设备(开关、发光二极管)及必要的软件组成的单片机系统。若片内无 ROM/EPROM 的单片

机, 则除了上述配置外, 还应外接 EPROM 或 E²PROM 作为程序存储器, 构成单片机系统。

2. 最小功耗应用系统

最小功耗应用系统是指在保证系统正常运行的情况下, 使系统的功率消耗最小。设计最小功耗应用系统时, 必须使系统内的所有器件、外设都有最小的功耗, 而且能运行在 Wait 和 Stop 方式。选择 CMOS 型单片机芯片, 为构成最小功耗应用系统提供了必要的条件, 这类单片机中都设置了低功耗运行的 Wait 和 Stop 方式。

最小功耗应用系统常用在便携式、手提式等袖珍式智能仪表, 野外工作仪表及在无源网络、接口中的单片机工作子站。

3. 典型应用系统

典型应用系统是指以单片机为核心, 配以输入/输出、显示、控制等外围电路和软件, 实现一种或多种功能的实用系统。由于单片机主要用于工业控制, 因此, 其典型应用系统应具备前向传感器通道、后向驱动通道及基本的人机对话手段。它包括了系统扩展与系统配置两部分内容。系统扩展是指在单片机中 ROM、RAM 及 I/O 接口等片内部件不能满足系统要求时, 在片外扩展相应的部分以弥补单片机内部资源的不足。系统配置是指单片机为满足应用要求时, 应配置的基本外部设备, 如键盘、显示器等。

1.3 51 系列单片机

1.3.1 MCS-51 系列单片机

MCS 是 Intel 公司生产的单片机的系列符号, MCS-51 系列单片机是 Intel 公司在 MCS-48 系列的基础上于 20 世纪 80 年代初发展起来的, 是最早进入我国并在我国应用最为广泛的单片机机型之一, 也是单片机应用的主流品种。MCS-51 系列单片机的分类见表 1-1, 51 子系列是基本型, 而 52 子系列则属于增强型。52 子系列与 51 子系列的异同点见表 1-1。

- (1) 片内 ROM 由 4KB 增加到 8KB;
- (2) 片内 RAM 由 128B 增加到 256B;
- (3) 定时器/计数器由 2 个增加到 3 个;
- (4) 中断源由 5 个增加到 6 个。

表 1-1 MCS-51 系列单片机分类表

系 列	型 号	片内存储器		片外存储器 寻址范围		I/O 接口线		中断源 (个)	定时器/计数器 (个×位)
		ROM	RAM	RAM	EPROM	并行	串行		
51 子系列	8031	无	128B	64KB	64KB	32 位	UART	5	2×16
	8051	4KB ROM							
	8751	4KB EPROM							
52 子系列	8032	无	256B	64KB	64KB	32 位	UART	6	3×16
	8052	8KB ROM							
	8752	8KB EPROM							

20 世纪 80 年代中期以后, Intel 公司已把精力集中在高档 CPU 芯片的研发上, 逐渐淡出单片机芯片的开发和生产。Intel 公司以专利转让或技术交换的形式把 8051 的内核技术转让给了许多半导体芯片生产厂家, 如 ATMEL、Philips、CygnaI、ANALOG、LG、ADI、Maxim、

DALLAS 等。这些公司生产的 51 系列单片机的主要产品见表 1-2。

表 1-2 与 80C51 兼容的主要产品

生产厂家	单片机型号
ATMEL 公司	AT89C5x 系列 (89C51/89S51、89C55 等)
Philips 公司	80C51、8Xc552 系列
Cygnal 公司	C80C51F 系列高速 SOC 单片机
LG 公司	GMS90/97 系列低价高速单片机
ADI 公司	ADuC8xx 系列高精度单片机
美国 Mxim 公司	DS89C420 高速 (50MIPS) 单片机系列
台湾华邦公司	W78C51、W77C51 系列高速低价单片机
AMD 公司	8-515/535 单片机
Siemens 公司	SAB80512 单片机

这些单片机均采用 8051 的内核结构、指令系统，采用 CMOS 工艺；有的公司还在 8051 内核的基础上又增加了一些功能模块，其集成度更高，更有特点，功能和市场竞争力更强。人们常用 80C51 来称呼所有这些具有 8051 内核使用 8051 指令系统的单片机，也习惯把这些兼容机等各种衍生品种统称为 51 单片机。

1.3.2 AT89 系列单片机

1. AT89C5x/AT89S5x 单片机

在众多的衍生机型中，美国 ATMEL 公司推出的 AT89 系列中的 AT89C5x/AT89S5x 单片机在我国目前的 8 位单片机市场中占有较大的份额。ATMEL 公司是美国 20 世纪 80 年代中期成立并发展起来的半导体公司。该公司于 1994 年以 E²PROM 技术与 Intel 公司的 80C51 内核的使用权进行交换。ATMEL 公司的技术优势是其闪烁 (Flash) 存储器技术，将 Flash 技术与 80C51 内核相结合，形成了片内带有 Flash 存储器的 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机。

AT89C5x/AT89S5x 系列单片机与 MCS-51 系列单片机在原有功能、引脚以及指令系统方面完全兼容，该系列单片机中的某些品种又增加了一些新的功能，如看门狗定时器 WDT、ISP (在系统编程，也称在线编程) 及 SPI 串行接口技术等。

另外，AT89C5x/AT89S5x 还支持由软件选择的两种节电工作方式，非常适于电池供电或其他要求低功耗的场合。AT89S51 与 MCS-51 系列中的 87C51 相比，片内的 4KB Flash 存储器取代了 87C51 片内的 4KB 的 EPROM，允许在线 (+5V) 电擦除，使用编程器或串行下载重复编程，且其价格较低，因此 AT89S5x 单片机是目前取代 MCS-51 系列单片机的主要芯片之一。本书重点介绍 AT89S51 单片机的工作原理及应用设计。

AT89S5x 的“S”档系列机型是 ATMEL 公司继 AT89C5x 系列之后推出的新机型，“S”表示含有串行下载的 Flash 存储器，代表性产品为 AT89S51 和 AT89S52。由于 AT89C51 单片机已不再生产，原来使用 AT89C51 单片机的系统，在保留原来软硬件的条件下，完全可以用 AT89S51 直接代换。

与 AT89C5x 系列相比，AT89S5x 系列的时钟频率以及运算速度有了较大的提高。例如，AT89C51 工作频率的上限为 24MHz，而 AT89S51 则为 33MHz。AT89S51 片内集成双数据指针 DPTR、看门狗定时器，具有低功耗空闲工作方式和掉电工作方式。目前，AT89S5x 系列已经逐渐取代了 AT89C5x 系列。

尽管 AT89S5x 系列单片机有多种机型，但是掌握好基本型 AT89S51 单片机是十分重要的，

因为它们是具有 8051 内核的各种型号单片机的基础, 最具典型性和代表性, 同时也是各种增强型、扩展型等衍生品种的基础。

2. AT89 系列单片机的型号说明

AT89 系列单片机编码由三部分组成, 它们是前缀、型号和后缀。

格式: AT89Cxxxx xxxx

其中, AT 是前缀, 89Cxxxx 是型号, xxxx 是后缀。下面分别对这三部分进行说明。

(1) 前缀: 由字母“AT”组成, 表示该器件是 ATMEL 公司的产品。

(2) 型号: 由“89Cxxxx”或“89LVxxxx”或“89Sxxxx”等表示。“89Cxxxx”中, 8 表示单片, 9 表示内部含有 Flash 存储器, C 表示 CMOS 产品。“89LVxxxx”中, LV 表示低电压产品, 可在 2.5V 电压下工作, 其他的产品在 5V 下工作。“89Sxxxx”中, S 表示含有串行下载的 Flash 存储器。后 4 位的“xxxx”表示器件的型号, 如 51、52、2051、8052 等。

(3) 后缀: 由最后的“xxxx”4 个参数组成, 每个参数的表示意义不同。在型号与后缀部分由“—”号隔开。

后缀中的第 1 个“x”表示速度: x=12, 表示速度为 12MHz; x=16, 表示速度为 16MHz; x=20, 表示速度为 20MHz, 等等。

后缀中的第 2 个“x”表示封装, 意义如下:

- x=P, 表示塑料双列直插 DIP 封装;
- x=D, 表示陶瓷封装;
- x=Q, 表示 PQFP 封装;
- x=J, 表示 PLV 封装;
- x=A, 表示 TQFP 封装;
- x=S, 表示 SOIC 封装;
- x=W, 表示裸芯片。

后缀中的第 3 个“x”表示芯片的温度范围, 意义如下:

- x=C, 表示商业用产品, 温度为 0~+70 ;
- x=I, 表示工业用产品, 温度为 -40~+85 ;
- x=A, 表示汽车用产品, 温度为 -40~+125 ;
- x=M, 表示军用产品, 温度为 -55~+150 ;

后缀中的第 4 个“x”用于说明产品的工艺, 意义如下:

- x 为空, 表示处理工艺是标准工艺;
- x=/883, 表示处理工艺采用 MIL-STD-883 标准。

例如, 某一单片机型号“AT89C51-12PI”, 表示是 ATMEL 公司的 Flash, CMOS 产品, 速度 12MHz, 塑料双列直插 DIP 封装, 工业级, 标准处理工艺生产。

1.3.3 各种衍生品种的 51 单片机

1. STC 系列单片机

STC 系列单片机是深圳宏晶公司的产品, 具有我国自主知识产权, 是功能与抗干扰性强的增强型 51 单片机, 有多种子系列, 几十个品种, 以满足不同应用需要。其中 STC12C5410/STC12C2052 系列的性能及特点如下。

(1) 高速: 传统 51 单片机每机器周期为 12 个时钟, 而 STC12 单片机可以每机器周期 1 时钟, 指令执行速度大大提高, 12 代表速度比普通的 8051 快 8~12 倍。

(2) 宽工作电压：C 代表工作电压 5.5 ~ 3.8V，LE、LV 代表工作电压 2.4 ~ 3.8V (STC12LE5410AD 系列)。

(3) 12KB/10KB/8KB/6KB/4KB/2KB 片内 Flash 程序存储器，擦写次数 10 万次以上。

(4) 片内的 RAM：5 代表片内 RAM 数据存储器为 512B。

(5) 可在系统可编程 (ISP) / 在应用可编程 (IAP)，无须编程器/仿真器，可远程升级。

(6) 8 通道的 10 位 ADC，4 路 PWM 输出。

(7) 4 通道捕捉/比较单元，也可用来再实现 4 个定时器或 4 个外部中断 (支持上升沿/下降沿中断)。

(8) 2 个硬件 16 位定时器，兼容普通 8051 的定时器。4 路 PCA 还可再实现 4 个定时器。

(9) 硬件看门狗 (WDT)。

(10) 高速 SPI 串口。

(11) 全双工异步串行口 (UART)，兼容普通 8051 的串口。

(12) 通用 I/O 口 (对应不同的封装形式，分别有 27、23、15 个 I/O 口)，复位后，I/O 口为准双向口/弱上拉 (普通 8051 传统 I/O 接口)。可通过新增的特殊功能寄存器 PxM0、PxM1 将 I/O 口设成。准双向口/弱上拉、推挽/强上拉、仅为输入/高阻、开漏四种模式中的一种，I/O 口驱动能力均可达到 20mA，但整个芯片最大不可超过 55mA。

(13) 超强抗干扰能力与高可靠性。

(14) 采取了降低单片机时钟对外部电磁辐射的措施。

(15) 超低功耗设计。掉电模式的典型功耗小于 0.1 μ A，空闲模式的典型功耗为 2mA，正常工作模式的典型功耗为 4 ~ 7mA。掉电模式可由外部中断唤醒，适用于电池供电系统，如水表、气表、便携设备等。

STC 单片机可直接替换 ATMEL、Philips、Winbond (华邦) 等公司的产品，是一款高性能、高可靠性机型，尤其是具有较高的抗干扰特性，应当给予足够的重视。

2. C8051Fxxx 单片机

美国 Cygnal 公司的 C8051Fxxx 系列单片机集成度高，采用 8051 内核，代表性产品为 C8051F020。C8051F020 内部采用流水线结构，大部分指令的完成时间为 1 或 2 个时钟周期，峰值处理能力为 25MIPS，与经典的 51 单片机相比，可靠性和速度有很大提高。

C8051F020 片内集成了 1 个 8 位 ADC、1 个 12 位 ADC、1 个双 12 位 DAC；64KB 片内 Flash 程序存储器，256B RAM，128B SFR；8 个 I/O 端口共 64 根 I/O 口线；5 个 16 位通用定时器；5 个捕捉/比较模块的可编程计数/定时器阵列 (PCA)，1 个 UART 串行口，1 个 SMBus/I²C 串口，1 个 SPI 串行口；2 路电压比较器、电源监测器、内置温度传感器。最突出的改进是引入了数字交叉开关 (C8051F2xx 除外)，改变了以往内部功能与外部引脚的固定对应关系。

用户可通过可编程的交叉开关控制寄存器将片内的计数器/定时器、串行总线、硬件中断、ADC 转换器输入、比较器输出以及单片机内部的其他硬件外设配置出现在端口 I/O 引脚。可根据特定应用，选择通用端口 I/O 与片内硬件资源的灵活组合。

3. AD μ C812 单片机

AD μ C812 是美国 ADI (Analog Device Inc) 公司生产的高性能单片机，其内部包含了高精度的自校准 8 通道 12 位模数转换器 (ADC)，2 通道 12 位数模转换器 (DAC) 以及 8051 内核，指令系统与 MCS-51 系列兼容。片内有 8KB Flash 程序存储器、640B Flash 数据存储器、256B 数据 SRAM (支持可编程)。片内集成看门狗定时器、电源监视器以及 ADC DMA 功能。为多处理器接口和 I/O 扩展提供了 32 条可编程的 I/O 线，包含与 I²C 兼容的串行接口、SPI 串行接口和标准

UART 串行接口 I/O。

AD μ C812 的 MCU 内核和模数转换器均设置有正常、空闲和掉电工作模式,通过软件可以控制芯片从正常模式切换到空闲模式,也可以切换到更为省电的掉电模式。在掉电模式下,AD μ C812 消耗的总电流约为 5 μ A。

4. 台湾华邦公司 W78 系列和 W77 系列单片机

台湾华邦公司 (Winbond) 的产品 W77 系列、W78 系列单片机与 51 单片机完全兼容。

对 8051 的时序作了改进,每个指令周期只需要 4 个时钟周期,速度提高了 3 倍,工作频率最高可达 40MHz。

W77 系列为增强型,片内增加了看门狗、两组 UART 串口、两组 DPTR 数据指针 (编写应用程序非常便利) ISP (在线编程) 等功能。片内集成了 USB 接口,语音处理等功能,具有 6 组外部中断源。

华邦公司的 W741 系列的 4 位单片机具有液晶驱动,可在线烧录,保密性高,低工作电压 (1.2~1.8V) 等优点。

1.4 其他系列单片机

除 51 单片机外,某些非 51 单片机也得到了较广泛的应用。目前我国使用较为广泛的是 PIC 系列与 AVR 系列单片机,这两种单片机博采众长,又具独特技术,已占有较大的市场份额。

1. PIC 系列单片机

PIC 系列单片机是美国 Microchip 公司的产品,主要特性如下。

(1) 最大特点是从实际出发,重视性价比。例如,一个摩托车点火器需要一个 I/O 较少、RAM 及程序存储空间不大、可靠性较高的小型单片机,若采用 40 脚单片机,则“大马拉小车”。PIC 系列从低到高几十个型号,可满足各种需要。

PIC12C508 仅有 8 个引脚,是世界上最小的单片机,有 512B ROM、25B RAM、1 个 8 位定时器、1 根输入线、5 根 I/O 线,价格非常便宜,用在摩托车点火器非常适合。PIC 的高档型单片机,如 PIC16C74 (尚不是最高档型) 有 40 个引脚,其内部资源为 4KB ROM、192B RAM、8 路 A/D、3 个 8 位定时器、2 个 CCP 模块、3 个串行口、1 个并行口、11 个中断源、33 个 I/O 脚,可与其他品牌的高档型号媲美。

(2) 精简指令集 (RISC) 使指令执行效率大为提高。数据总线和指令总线分离的哈佛总线 (Harvard) 结构,使指令具有单字长,且允许指令代码的位数可多于 8 位的数据位数,与传统的采用复杂指令结构 (CISC) 的 8 位单片机相比,可达到 2:1 的代码压缩,速度提高 4 倍。

(3) 具有优越开发环境。普通 51 单片机的开发系统大都采用高档型号仿真低档型号,其实时性不尽理想。PIC 推出一款新型号单片机的同时推出相应的仿真芯片,所有的开发系统由专用的仿真芯片支持,实时性非常好。

(4) 引脚具有防瞬态能力,通过限流电阻可以接至 220V 交流电源,可直接与继电器控制电路相连,无须光电耦合器隔离,给应用带来极大方便。

(5) 保密性好。以保密熔丝来保护代码,用户在烧入代码后熔断熔丝,别人再也无法读出,除非恢复熔丝。目前,PIC 采用熔丝深埋工艺,恢复熔丝的可能性极小。

(6) 片内有看门狗定时器,可提高程序运行的可靠性。

(7) 设有休眠和省电工作方式,可大大降低单片机系统的功耗,并可采用电池供电。

PIC 单片机的型号繁多,分为低档型、中档型和高档型。

(1) 低档型: PIC12C5xxx/16C5x 系列。PIC16C5x 系列是最早得到发展的系列,因其价格较低,且有较完善的开发手段,因此应用最为广泛。PIC12C5xx 是世界上第一个 8 脚低价位单片机,可用于简单的智能控制等一些要求单片机体积小的场合,前景十分广阔。

(2) 中档型: PIC12C/PIC16C 系列以及 PIC18 系列。中档产品是 Microchip 公司近年重点发展的产品,品种丰富。尤其是 PIC18 系列,它的程序存储器最大可达 64KB,通用数据存储器最大可达 3968B;有 8 位和 16 位定时器、比较器;8 级硬件堆栈,10 位 A/D 转换器,捕捉输入, PWM 输出;配置了 I²C、SPI、UART 串口, CAN、USB 接口,模拟电压比较器及 LCD 驱动电路等,其封装 14~64 脚,价格适中,性价比高,已广泛应用在高、中、低档的各类电子产品中。

(3) 高档型: PIC17Cxx 系列。PIC17Cxx 是适合高级复杂系统开发的系列产品,其性能在中档位单片机的基础上增加了硬件乘法器,指令周期可达 160ns。它是目前世界上 8 位单片机中性价比最高的机种,可用于高、中档产品的开发,如电机控制等。

2. AVR 系列单片机

AVR 系列单片机是 1997 年由 ATMEL 公司利用 Flash 新技术,研发出的精简指令集 (Reduced Instruction Set Computer, RISC) 的高速 8 位单片机,其特点如下。

(1) 高速、高可靠性、功能强、低功耗和低价位。废除了机器周期,抛弃复杂指令 CISC,采用精简指令集,以字作为指令长度单位,将内容丰富的操作数与操作码安排在一字之中,指令长度固定,指令格式与种类相对较少,寻址方式也相对较少,绝大部分指令都为单周期指令。取指周期短,又可预取指令,实现流水作业,故可高速执行指令。当然这种“高速度”是以高可靠性来保障的。

(2) 片内 Flash 存储器给用户程序的开发带来方便。采用新工艺的 AVR 器件,Flash 程序存储器擦写可达 10 000 次以上。片内较大容量的 RAM,不仅能满足一般场合的使用,同时也更有效地支持使用高级语言开发系统程序,并可像 MCS-51 单片机那样扩展外部 RAM。

(3) 丰富的外设。单片机有定时器/计数器、看门狗电路、低电压检测电路 BOD,多个复位源(自动上电复位、外部复位、看门狗复位、BOD 复位),可设置的启动后延时运行程序,增强了单片机应用系统的可靠性。片内有多种串口,如通用的异步串行口 (UART),面向字节的高速硬件串口 TWI (与 I²C 兼容)、SPI。此外还有 ADC、PWM 等片内外设。

(4) I/O 口功能强、驱动能力大。工业级产品具有大电流(最大可达 40mA),驱动能力强,可省去功率驱动器件,直接驱动可控硅 SSR 或继电器。AVR 单片机的 I/O 口是真正的 I/O 口,能正确反映 I/O 口输入/输出的真实情况。I/O 口的输入可设定为三态高阻抗输入或带上拉电阻输入,以便于满足各种多功能 I/O 口应用的需要,具备 10~20mA 灌电流的能力。

(5) 低功耗。具有省电功能 (Power Down) 及休眠功能 (Idle) 的低功耗的工作方式。一般耗电在 1~2.5mA;对于典型功耗情况,WDT 关闭时为 100nA,更适用于电池供电的应用设备。有的器件最低 1.8V 即可工作。

(6) AVR 单片机支持程序的在系统编程 (In System Program, ISP) 即在线编程,开发门槛较低。只需一条 ISP 并口下载线,就可以把程序写入 AVR 单片机,无须使用编程器。其中 MEGA 系列还支持在线应用编程 (IAP,可在线升级或销毁应用程序),省去仿真器。

AVR 单片机系列齐全,有 3 个档次,可适用于各种不同场合的要求。低档 Tiny 系列 AVR 单片机主要有 Tiny11/12/13/15/26/28 等;中档 AT90S 系列 AVR 单片机主要有 AT90S1200/2313/8515/8535 等;高档 Atmega 系列 AVR 单片机主要有 ATmega8/16/32/64/128 (存储容量为 8KB/16KB/32KB/64KB/128KB) 以及 ATmega8515/8535 等。

1.5 其他嵌入式处理器简介

目前以嵌入式处理器为核心的嵌入式系统应用已经成为当今电子信息技术的一大热点。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,按体系结构主要分为如下几类:嵌入式微控制器(单片机)、嵌入式数字信号处理器(简称 DSP)及嵌入式微处理器。

1. 嵌入式 DSP 处理器(DSP)

嵌入式数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)是一种非常擅长于高速实现各种数字信号处理运算(如数字滤波、FFT、频谱分析等)的嵌入式处理器。由于对 DSP 硬件结构和指令进行了特殊设计,使其能够高速完成各种数字信号处理算法。

1981 年,美国 TI(Texas Instruments)公司研制出了著名的 TMS320 系列的首片低成本、高性能的 DSP 处理器芯片——TMS320C10,使 DSP 技术向前跨出了意义重大的一步。20 世纪 90 年代,由于无线通信、各种网络通信、多媒体技术的普及和应用,高清晰度数字电视的研究,极大地刺激了 DSP 的推广应用,DSP 大量进入嵌入式领域。推动 DSP 快速发展的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、数字图像处理等。这类产品的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 的长处所在。

尽管 DSP 技术已达到较高的水平,但在一些实时性要求很高的场合,单片 DSP 的处理能力还是不能满足要求。因此,又研制出多总线、多流水线和并行处理的包含多个 DSP 处理器的芯片,大大提高了系统的性能。

与单片机相比,DSP 具有实现高速运算的硬件结构及指令和多总线,DSP 处理的算法复杂度和大的数据处理流量更是单片机不可企及的。

DSP 的主要厂商有美国 TI、ADI、Motorola、Zilog 等公司。TI 公司位居榜首,占全球 DSP 市场约 60%。DSP 代表性的产品是 TI 公司的 TMS320 系列。TMS320 系列处理器包括用于控制领域的 C2000 系列、移动通信领域的 C5000 系列以及应用在网络、多媒体和数字图像处理领域的 C6000 系列等。

今天,随着全球信息化和 Internet 的普及,多媒体技术的广泛应用,尖端技术向民用领域的迅速转移,数字技术大范围进入消费类电子产品,使 DSP 不断更新换代,性能指标不断提高,价格不断下降,已成为新兴科技——通信、多媒体系统、消费电子、医用电子等飞速发展的主要推动力。据国际著名市场调查研究公司 Forward Concepts 发布统计和预测报告显示,目前世界 DSP 产品市场每年正以 30% 的增幅增长,是目前最有发展和应用前景的嵌入式处理器之一。

2. 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器(Embedded MicroProcessor Unit, EMPU)的基础是通用计算机中的 CPU。在应用设计中,将嵌入式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母版功能,这样可以大幅度减小系统体积和功耗。

为了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是一样的,但在工作温度、抗电磁干扰、可靠性等方面一般都做了各种增强处理。

嵌入式微处理器中比较有代表性的产品为 ARM 系列,主要有 5 个产品系列:ARM7、ARM9、ARM9E、ARM10 和 SecurCore。

下面以 ARM7 为例,简单说明嵌入式微处理器的基本性能。

嵌入式处理器的地址线为 32 条,所能扩展的存储器空间要比单片机存储器空间大得多,所

以可配置实时多任务操作系统 (RTOS), RTOS 是嵌入式应用软件的基础和开发平台。

常用的 RTOS 为 Linux (数百 KB) 和 VxWorks (数 MB) 以及 $\mu\text{C-OS}$ 。由于嵌入式实时多任务操作系统具有高度灵活性,可很容易地对它进行定制或适当开发,即对它进行“裁剪”、“移植”和“编写”,从而设计出用户所需的应用程序,满足实际应用需要。

正是由于嵌入式微处理器为核心的嵌入式系统能够运行实时多任务操作系统,所以能够处理复杂的系统管理任务和处理工作。因此,在移动计算平台、媒体手机、工业控制和商业领域(例如,智能工控设备、ATM 机等)、电子商务平台、信息家电(机顶盒、数字电视)等方面,甚至军事上的应用,具有巨大的吸引力。因此,以嵌入式微处理器为核心的嵌入式系统应用,已成为继单片机、DSP 之后的电子信息技术应用的又一大热点。



习题 1

1. 什么是单片机?什么是单片机系统?
2. 单片机有哪些系列产品?各有什么特点?
3. 单片机主要应用于哪些领域?
4. 在单片机应用系统中的硬件与软件是什么关系?软件如何实现对硬件的控制?
5. 观察大街上的电子广告,思考它是如何实现的?
6. 简述 51 系列单片机的特点及分类。

电子工业出版社版权所有
盗版必究