

DANPIANJI
YUANLI JI YINGYONGHUA
XIANGMU JIAOCHENG

单片机

原理及应用化项目

教程

主编◎李向军 郑洪涛



电子科技大学出版社

DANPIANJI
YUANLI JI YINGYONG
HUA XIANGMU JIAOCHENG

单片机

原理及应用化项目

教程

主编◎李向军, 郑洪涛

常州大学图书馆
藏书章



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用化项目教程 / 李向军, 郑洪涛主
编. —成都: 电子科技大学出版社, 2015.8
ISBN 978-7-5647-3131-1

I. ①单… II. ①李… ②郑… III. ①单片微型计算
机—高等学校—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 180946 号

单片机原理及应用化项目教程

李向军 郑洪涛 主编

出 版: 电子科技大学出版社
地 址: 成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 (邮编 610051)
策划编辑: 辜守义
责任编辑: 辜守义
主 页: www.uestcp.com.cn
电子邮箱: uestcp@uestcp.com.cn
发 行: 新华书店经销
印 刷: 四川永先数码印刷有限公司
成品尺寸: 185mm×260mm 印张 13.5 字数 320 千字
版 次: 2015 年 8 月第 1 版
印 次: 2015 年 8 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-5647-3131-1
定 价: 34.00 元

版权所有★侵权必究

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 本社邮购电话: 028-83201495。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。

前 言

单片机作为计算机的一个重要分支,具有普通计算机所不具备的一系列优点。其体积小,功能强,可靠性高,价格低,性能稳定,被广泛应用于智能仪器仪表、自动控制、通信系统、家用电器和计算机外围设备等。此外,单片机嵌入式系统还在农业、化工、军事、航空航天等领域得到广泛应用。因此,单片机的学习、开发与应用将造就一批计算机应用与智能化控制的工程技术人员。了解单片机的知识并掌握其应用技术具有重要的意义。

目前,单片机的种类繁多,虽然近十年来开发出了 16 位和 32 位产品,但是,8 位单片机已能满足控制领域中多数场合的要求,在目前乃至今后相当长的时间内,仍将以 8 位机为主。其中,Atmel 公司的 51 内核系列单片机与 Intel 公司的 MCS - 51 单片机在结构体系、指令系统方面完全兼容,而且 MCS - 51 系列 8 位单片机教学内容稳定,实验设备成熟。因此,本书以基于 51 内核的 AT89C51 单片机为主,介绍单片机应用所需的基础知识和基本技能。

本书采用教、学、做相结合的教学模式,系统全面地介绍 MCS - 51 单片机应用所需的基础知识和基本技能,并通过应用实例分析,将复杂的原理变为直观易懂的内容,以指导读者学习、开发和使用单片机。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者
2015 年 3 月

目 录

第1章 概 述	(1)
1.1 单片机概述	(1)
1.2 单片机的历史与发展趋势	(5)
1.3 单片机的开发与学习	(7)
第2章 MCS-51 单片机的硬件结构	(12)
2.1 MCS-51 单片机的内部结构、引脚定义及外部总线	(12)
2.2 MCS-51 存储器的结构	(15)
2.3 MCS-51 单片机的 CPU	(24)
2.4 并行 I/O 端口	(25)
2.5 时钟电路与复位电路	(31)
第3章 单片机的指令系统	(38)
3.1 指令系统概述	(38)
3.2 MCS-51 单片机的助记符语言	(39)
3.3 MCS-51 系统的寻址方式	(40)
3.4 MCS-51 单片机的指令系统	(46)
第4章 汇编语言程序设计基础	(67)
4.1 汇编语言概述	(67)
4.2 汇编语言格式	(68)
4.3 汇编语言程序的基本结构	(69)
4.4 汇编语言程序设计基础	(84)

第5章 单片机的中断系统	(95)
5.1 中断的概念	(95)
5.2 输入输出的控制方式	(97)
5.3 MCS-51 中断系统的结构	(100)
5.4 中断程序的设计及实例	(101)
第6章 MCS-51 单片机 I/O 接口的简单应用设计	(108)
6.1 常用的串行总线简介	(108)
6.2 串行单总线技术	(113)
6.3 I/O 接口的功能和内部结构	(120)
6.4 典型外围接口技术	(126)
第7章 MCS-51 单片机的定时/计数器	(143)
7.1 定时/计数器的结构	(143)
7.2 定时/计数器的结构、控制及工作方式	(143)
第8章 MCS-51 基本扩展技术	(150)
8.1 扩展技术的基础内容、原理和方法	(150)
8.2 程序存储器扩展	(155)
8.3 数字 I/O 扩展	(162)
8.4 系统监控芯片的接口扩展	(172)
8.5 外部中断源的扩展	(173)
第9章 单片机应用系统设计	(176)
9.1 基于单片机测控系统的基本结构	(176)
9.2 单片机应用系统的开发与调试	(176)
9.3 单片机应用系统的抗干扰技术	(180)
9.4 单片机应用系统的低功耗技术	(195)
参考文献	(208)

第1章 概述

1.1 单片机概述

1.1.1 单片机的定义及应用领域简介

1. 单片机的定义

单片机的全称是单芯片微型计算机 (Single Chip Microcomputer), 也称为微控制器 (Microcontroller Unit), 它是将中央处理单元 (Center Processing Unit, CPU, 也称为微处理器)、数据存储器 RAM (Random Access Memory, 随机读/写存储器)、程序存储器 ROM (Read Only Memory, 只读存储器) 以及 I/O (Input/Output, 输入/输出) 接口集成在一块芯片上, 构成的一个计算机系统。

2. 单片机的诞生

单片机诞生于 20 世纪 70 年代末, 具有代表性的事件是 1976 年 Intel 公司推出了 MCS-48 单片机系列的第一款产品——8048。这款单片机在一个芯片内集成了超过 17 000 个晶体管, 包含一个 CPU, 1KB 的 EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory, 可擦可编程只读存储器), 64 字节的 RAM, 27 个 I/O 端口和一个 8 位的定时器。8048 很快就成为了控制领域的工业标准, 它们起初被广泛用来替代诸如洗衣机和交通灯等产品中的控制部分。

1980 年, Intel 公司在 MCS-48 的基础上推出了 MCS-51 系列的第一款单片机 8051, 单片机的功耗、大小和复杂程度都提高了一个数量级。与 8048 相比, 8051 集成了超过 60 000 个晶体管, 拥有 4KB 的 ROM, 128B 的 RAM, 32 个 I/O 接口, 一个串行通信接口和 2 个 16 位的定时器。经过 20 多年的发展, MCS-51 系列单片机已经形成了一个规模庞大、功能齐全、资源丰富的产品群。

3. 单片机的应用领域

单片机在日常生活和工作中无处不在、无处不有: 家用电器中的电子表、洗衣机、电饭煲、豆浆机、电子秤; 住宅小区的监控系统、电梯智能化控制系统; 汽车电子设备中的 ABS、GPS、ESP、TPMS; 医用设备中的呼吸机, 各种分析仪、监护仪、病床呼叫系统; 公交汽车、地铁站的 IC 卡读卡机、滚动显示车次和时间的 LED 点阵显示屏; 计算机的外围设备, 如键盘、鼠标、光驱、打印机、复印机、传真机、调制解调器; 计算机网络的通信设备; 智能化仪表中的万用表、示波器、逻辑分析仪; 工厂流水线的智能化管理系统, 成套设备中关键工作点的分布式监控系统; 导弹的导航装置, 飞机上的各种仪表等。有资料表明, 2007 年全球单片机的产值达到 151 亿美元, 我国单片机的销售额达到 400 亿元人民币, 我国每年单片机的需求量达 50 亿~60 亿片, 是全球单片机的最大市场。可以说单片机已经渗透我们生活的各个领域。

4. 单片机与嵌入式系统

所谓嵌入式系统，就是嵌入到对象体系中的专用计算机系统。“嵌入性”“专用性”与“计算机系统”是嵌入式系统的三个基本要素。对象体系则是指嵌入式系统所嵌入的宿主系统。按照上述嵌入式系统的定义，只要满足定义中三要素的计算机系统，都可称为嵌入式系统。嵌入式系统按形态可分为设备级（工控机）、板级（单板、模块）、芯片级（MCU、SOC）。单片机是嵌入式系统使用的一种核心元件。

嵌入式系统是现代计算机的两大分支之一，另一大分支是通用计算机，通用计算机的代表性产品是台式计算机。这两大计算机分支的发展方向不同：通用计算机的发展方向是总线速度的无限提升，存储容量的无限扩大；嵌入式系统的发展方向是体积更小、控制能力与控制的可靠性更高。

1.1.2 MCS-51 系列单片机及其主要类型

MCS-51 系列单片机指的是 Intel 公司生产的一个系列的单片机的总称。20 世纪 80 年代中期以后，由于 Intel 公司将重点放在高档微处理器芯片的开发上，所以将其 MCS-51 系列中的 80C51 内核使用权以专利互换或出售的形式转让给了全世界许多著名 IC 设计厂商，如 AMTEL、PHILIPS、ANALOG DEVICES、DAL-LAS 等。这些厂家生产的单片机是 MCS-51 系列单片机的兼容产品，或者说是与 MCS-51 指令系统兼容的单片机。MCS-51 系列单片机是商业化的单片机的鼻祖，多年来积累的技术资料和开发经验是其他系列单片机所不能比拟的，MCS-51 系列单片机事实上已经成为 8 位单片机的行业标准。所以，本书以 MCS-51 系列单片机为对象进行讲授。

MCS-51 系列单片机按照功能可以划分为以下主要类型。

1. 基本型

基本型主要包括 8031、8051 和 8751 等通用产品，其基本特性如下：

- (1) 8 位 CPU；
- (2) 4KB 片内程序存储器（ROM）；
- (3) 128B 的片内数据存储器（RAM）；
- (4) 32 条并行 I/O 口线；
- (5) 21 个专用寄存器；
- (6) 2 个可编程定时/计数器；
- (7) 5 个中断源，2 个优先级；
- (8) 一个全双工串行通信口；
- (9) 外部数据存储器寻址空间为 64KB；
- (10) 外部程序存储器寻址空间为 64KB；
- (11) 逻辑操作位寻址功能；
- (12) 一个片内时钟振荡器和时钟电路；
- (13) 单一 +5V 电源供电。

2. 增强型

增强型有 8052、8032、8752、89C52、89S52 等。这些单片机内部的 ROM、RAM 容量比基本型增大了一倍，同时将定时器增为 3 个。87C54 内部 ROM 为 16KB，87C58 增加到

32KB。另外，诸如中断源、A/D、SPI、IIC 接口等，也越来越多地集成到了 MCS-51 单片机中。

3. 低功耗型

低功耗型有 80C5X、80C3X、87C5X、89C5X 等。型号中的“C”字样的单片机采用 CHMOS 工艺，特点是低功耗。

4. ISP 型

ISP (In System Programming)，在线编程，是 Lattice 半导体公司首先提出来的一种让我们能在产品设计、制造过程中的每个环节，甚至在产品卖给最终用户以后，具有对其器件、电路板或整个电子系统的逻辑和功能随时进行重组或重新编程的技术。具有代表性的产品有 ATMEI 公司的 AT89S51、AT89S52 等 S 系列的产品。

5. IAP 型

IAP (In Application Program)，即在应用中可编程。就是在系统运行的过程中动态编程，这种编程是对程序执行代码的动态修改，而且无须借助于任何外部力量，也无须进行任何机械操作。这一点有别于 ISP。一般来说，ISP 在进行加载程序以前，需要设置某些功能引脚，迫使 IC 转入自举状态；而 IAP 则不需要作硬件上的任何动作，只要有合法的数据来源。数据源既可以是内部程序运行的结果，也可以来自 UART，I/O 口或者总线。IAP 不仅提供现场或者远程软件修改升级，也可以把它理解成 idate、pdate 或者 xdate，替代 12C 之类的外部 E2PR () M，存储并加密数据。典型芯片如 SST 公司开发的 C51 系列单片机：SST89C54/58。

单片机的主要类型有：

(1) Motorola 单片机

Motorola 是世界上最大的单片机厂商，品种全、选择余地大、新产品多是其特点。在 8 位机方面有 68HC05 和升级产品 68HC08。68HC05 有 30 多个系列，200 多个品种，产量已超过 20 亿片。16 位机 68HC16 也有十多个品种。32 位单片机的 683 × × 系列也有几十个品种。Motorola 单片机特点之一是在同样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，更适合于工业控制领域及恶劣的环境。

(2) Microchip 单片机

由美国 Microchip 公司推出的 PIC 单片机系列产品，已有三种系列多种型号的产品问世，从计算机的外围设备、家电控制、电讯通信、智能仪器、汽车电子到金融电子的各个领域，都得到广泛的应用。它的主要产品是 16C 系列 8 位单片机，CPU 采用 RISC 结构，仅 33 条指令，其高速度，低电压，低功耗，大电流 LCD 驱动能力和低价位 OTP 技术等，都体现出单片机产业的发展新趋势，且以低价位著称，一般单片机价格都在一美元以下。Microchip 单片机没有掩膜产品，大都是 OTP（一次性可编程）器件，近年已推出 Flash 型单片机。Microchip 强调节约成本的最优化设计、使用量大、档次低、价格敏感的产品。

(3) Atmel 单片机

AVR 单片机是 1997 年由 Atmel 公司研发出的增强型内置 Flash 的精简指令集高速 8 位单片机。AVR 单片机具有这样一些特点，例如，运行速度快；芯片内部的 Flash、EEPROM、SRAM 容量较大并且全部支持在线编程烧写（ISP）；上电自动复位；每个 I/O 口都

可以以推换驱动的方式输出高、低电平，驱动能力强；内部资源丰富等。目前支持 AVR 单片机编译器的语言主要有汇编语言、C 语言、BASIC 语言等。

1.1.3 单片机及其特点

什么是单片机？单片机就是在一块硅片上集成了微处理器（CPU）、存储器（RAM、ROM）和各种输入/输出接口（定时/计数器、并行 I/O 口、串行口以及 A/D 转换器等），这块芯片具备一台计算机的属性，因而被称为单片微型计算机，简称单片机。单片机也称为“微控制器”、“嵌入式微控制器”等。单片机一词源于“Single Chip Microcomputer”，简称 SCM。国际上逐渐采用“MCU（Microcontroller Unit）”来代替。

单片机按照其用途可分为通用型和专用型两大类。

1. 通用型单片机

通用型单片机具有比较丰富的内部资源，性能全面且适应性强，能覆盖多种应用需求。用户可以根据需要设计成各种不同应用的控制系统。

2. 专用型单片机

专用型单片机是专门针对特定产品而设计的。例如，打印机控制器和各种通信设备的单片机等。这种“专用”单片机针对性强且用量大，为此，需要设计和生产专用的单片机芯片。正因为专用的单片机芯片是针对一种产品或一种控制应用而专门设计的，设计时就已经对系统结构的最简化、软硬件资源利用的最优化、可靠性和成本的最佳化等方面都作了通盘的考虑和设计，所以专用的单片机具有十分明显的综合优势。

通常所说的和本书所介绍的单片机是指通用型单片机。今后，随着单片机应用的广泛和深入，各种专用单片机芯片会越来越多，必将会成为今后单片机发展的一个重要方向。但是，无论专用单片机在应用上有多么“专”，其原理和结构都是以通用单片机为基础的。

单片机是微型计算机的一个重要分支，一块单片机就是一台计算机。由于单片机的这种特殊的结构形式，在有些应用领域中，它承担了大中型计算机和通用的微型计算机无法完成的一些工作，使其具有很多显著的优点和特点，因此在各个领域中都得到了迅猛的发展。单片机的特点可归纳为以下几个方面。

（1）具有优异的性价比

单片机的高性能、低价格是它最显著的一个特点，尽可能把应用所需要的存储器，各种功能的 I/O 口都集成在一块芯片内，使之成为名副其实的单片机。

单片机的另一个显著特点是量大面广，因此世界上各大公司在提高单片机性能的同时，又设法进一步降低其价格。

（2）集成度高、体积小、可靠性高

单片机是将各功能部件集成在一块芯片上，内部采用总路线结构，从而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，在强磁场环境下易于采取屏蔽措施，适合于在恶劣的工业环境下工作。

（3）控制功能强

单片机非常适用于专门的控制用途。为了满足工业控制要求，一般单片机的指令系统中有极其丰富的转移指令、I/O 口的逻辑操作以及位处理功能。单片机的逻辑控制功能及运行速度均高于同一档次的微处理器。

(4) 低电压、低功耗

单片机大量运用于便携式产品和家用消费类产品，低电压和低功耗的特性尤为重要。许多单片机已经可以在 2.2 V 的电压下运行，有的已在 1.2 V 或 1.9 V 下工作；功耗降至 μA 级，一粒纽扣电池就可以长期使用。

1.2 单片机的历史与发展趋势

单片机自 20 世纪 70 年代诞生以来，发展十分迅速。从各种新型单片机的性能上看，单片机正朝着面向多层次用户的多品种、多规格方向发展。

1.2.1 单片机的发展概况

单片机的产生与发展和微处理器的产生与发展大体上同步，也经历了 4 个阶段。

第 1 阶段（1974 ~ 1976 年）：单片机初级阶段。1974 年，美国 Fairchild（仙童）公司研制出世界上第一台单片微型计算机 F8，深受家用电器和仪器仪表领域的欢迎和重视，从此拉开了研制单片机的序幕。这个时期生产的单片机特点是制造工艺落后，集成度低，而且采用双片结构。

第 2 阶段（1976 ~ 1978 年）：低性能单片机阶段。这一时期的单片机虽然已经能在单块芯片内集成 CPU、并行口、定时器、RAM 和 ROM 等功能芯片，但 CPU 功能还不太强，I/O 的种类和数量少，存储容量小，只能应用于比较简单的场合。例如，MCS - 48 单片机是 Intel 公司的第一代 8 位单片机系列产品，集成了 8 位的 CPU、并行 I/O 接口、8 位定时器广计数器，寻址范围不大于 4KB，无串行接口。此阶段的很多产品（包括基本型 8048、8748 和 8035，强化型 8049、8039 和 8050、8040，简化型 8020、8021、8022，专用型 UPI - 8041、8741 等）目前已被高档 8 位单片机所取代。

第 3 阶段（1978 ~ 1983 年）：高性能单片机阶段。这一阶段的单片机普遍带有串行接口，有多级中断处理系统和 16 位定时器/计数器，片内 RAM、ROM 容量加大，且寻址范围可达 64KB，有的片内还带有 A/D 转换接口。这类单片机有 Intel 公司的 MCS - 51 以及 Motorola 公司的 M6805 和 zilog 公司的 z8 等。由于其应用领域极其广泛，各公司正在不断地改进其结构与性能，所以，这个系列的各类产品仍是目前国内外同类产品的主流。其中，MCS - 51 系列产品最为明显。

第 4 阶段（1983 年至今）：16 位以上的单片机和超 8 位单片机并行发展阶段。这一阶段的单片机的主要特征是，一方面发展 16 位及以上单片机和专用单片机；另一方面不断完善高档 8 位单片机，改善其结构，以满足不同用户的需要。自 1982 年 16 位单片机诞生以来，现在已有 Intel 公司的 MCS - 96、Mostek 公司的 MK68200、NS 公司的 HPC16040、NEC 公司的 783 × × 和 TI 公司的 TMS9940 及 9995 系列等。16 位单片机的特点是 CPU 是 16 位的，运算速度普遍高于 8 位机，有的单片机寻址可达 1MB，片内含有 A/D 和 D/A 转换电路，支持高级语言。16 位单片机主要用于过程控制、智能仪表、家用电器及计算机外部设备的控制器等。

32 位单片机的字长为 32 位，具有极高的运算速度。近年来，随着家用电子系统、多媒体技术和 Internet 技术的发展，32 位甚至 64 位单片机的生产前景看好，其典型产品有 Motorola 公司的 M68300 和 Hitachi 公司的 SH 系列等。第 4 阶段单片机的一个重要标志是，超 8 位单片机的各档机型都增加了直接存储器存取（DMA）通道、特殊串行接口等。这些

8 位单片机主要有：Intel 公司的 8044、87C252、80C252、UPI - 452、Zilog 公司的 Super8 和 Motorola 公司的 68HC11 等。

单片机从操作处理的数据位数来看，有 4 位、8 位、16 位、32 位甚至 64 位单片机。从技术上看，8 位、16 位、32 位及 64 位单片机将会越来越受到人们的重视，今后其应用会越来越多。但是衡量单片机，不仅要看其性能指标，还要考虑价格和开发周期等综合效益。在许多场合，4 位和 8 位单片机已经可以满足要求，如果使用高档的 16 位及 32 位甚至 64 位单片机，可能会延长开发周期，增加开发费用。因此，在今后相当长的一段时间，16 位、32 位及 64 位单片机只能不断扩大其应用范围，并不能完全代替 8 位机。另外，因为 8 位单片机在性能价格比上占有优势，而且 8 位增强型单片机在速度和功能上可向现在的 16 位单片机挑战，所以，8 位单片机仍将在今后的一段时间里占主流地位。

尽管目前单片机品种繁多，但其中最为典型、销量最多的当数 Intel 公司的 MCS - 51 系列单片机，它的功能强大，兼容性强，软硬件资料丰富。近年来，Intel 公司及其他公司在提高该系列产品的性能方面做了很多工作，如低功耗控制、高级语言编程，同时将 MCS - 96 系列中的一些高速输出、脉冲宽度调制（PWM）、捕捉定时器/计数器功能移植进来了。至今，MCS - 51 仍不失为单片机中的主流机型。因此，本书主要介绍 MCS - 51 系列单片机。

1.2.2 单片机的发展趋势

近年来单片机的发展趋势正朝着大容量高性能化、小容量低价格比、外围电路内装化、多品种化以及 I/O 接口功能的增强、功耗降低等方向发展。

1. CPU 的发展

单片机内部 CPU 功能的增强集中体现在数据处理速度和精度的提高以及 I/O 处理能力的提高。通过其他 CPU 改进技术，如采用双 CPU 结构、增加数据总线宽度、采用流水线结构，来加快运算速度，提高处理能力等。

2. 单片机大容量化

现在单片机片内存储器容量日益扩大。早期单片机片内 ROM 为 1 ~ 8KB，片内 RAM 为 64 ~ 256B，现在片内 ROM 可达 64KB，片内 RAM 可达 4KB，并具有掉电保护功能，I/O 接口也无需外加扩展芯片。许多高性能的单片机不但扩大了内部存储器容量，而且扩大了 CPU 的寻址范围，提高了系统的扩展功能。随着单片机程序空间的扩大，单片机的空余空间可以嵌入实时操作系统 RTOS 等软件。这些将大大提高产品的开发效率和单片机的性能。

3. 单片机内部的资源增多

现在很多单片机内部集成了一些常用的：I/O 接口电路（包括并行接口和串行接口、多路 A/D 转换器、定时器/计数器、定时输出和捕捉输入、系统故障监视器、DMA 通道、PWM、LED 和 LCD 驱动器，以及 D/A 输出电路等），大大减少了单片机的外接电路，从而减小了控制系统的体积，提高了工作的可靠性。

4. 引脚的多功能化、发展串行总线

随着单片机内部资源的增多，所需的引脚也相应增加。为了减少引脚数量，单片机中

普遍使用多功能引脚，即一个引脚具有几种功能供用户选择。单片机的扩展方式从并行总线发展出各种串行总线并被工业界接受，形成一些工业标准，如 I²C（Inter Integrated Circuit）总线、CAN（Controller Area Network）总线、LISB（Universal Serial Bus）总线接口等。它们采用 3 条数据总线代替现行的 8 位数据总线，从而减少了单片机的引脚总数，降低了成本。

5. 单片机低廉化、超微型化

为了适应各个领域的应用需要，单片机正在向多层次、多品种的纵深方向发展。价格低廉的 4 位、8 位机也是单片机的发展方向之一，其用途是把以往用数字逻辑电路组成的控制电路单片化。同时，专用型的单片机将得到大力发展，专业单片机能最大限度地简化系统结构，提高可靠性，提高资源利用率，大批量使用，最能体现经济效益。

单片机的内部一般采用模块式结构，在内核 CPU 不变的情况下，根据应用目标的不同，增减一定的模块和引脚就可以得到一个新的产品，于是便出现了一种超微型化的单片机。这类单片机的体积小，价格低廉，特别适用于家用电器、玩具等领域的应用。

6. 低功耗

目前单片机普遍采用 CMOS 制造工艺，非 CMOS 工艺的单片机逐步被淘汰，同时增加了软件激发的空闲（等待）方式和掉电（停机）方式，极大地降低了单片机的功耗。低功耗的单片机能用电池供电，对于野外作业等领域的应用具有特殊意义。低功耗的技术措施可提高可靠性，降低工作电压，使抗噪声和抗干扰等各种性能全面提高。

7. 单片机开发方式大为进步

现在单片机应用系统的开发方式走出了以功能实现为目标的初级阶段，进入全面解决系统可靠性的综合开发阶段，即从器件选择、硬件结构设计、电路板图设计、软件设计等各方面综合解决系统的可靠性。

另外，由于单片机片内 Flash ROM 的使用，替代了过去的片内掩膜 ROM，使得开发单片机应用不再需要仿真器。如今，单片机的片内 Flash ROM 都可以在线编程，即在线写入、擦除、下载程序。Flash ROM 的写入、擦除次数可达 10 万次以上，故开发过程中可不必顾及寿命问题。在目标板的单片机中直接运行应用程序，是在真实的硬件环境下运行，比在使用仿真器的单片机上运行效果要真实得多。

8. 多机与网络系统的支持技术日益成熟

近年来推出的网络系统总线体现了单片机现场控制网络总线的特点，它与芯片间串行总线相配合，能灵活方便地构成各种规模的多机系统和网络系统。

1.3 单片机的开发与学习

1.3.1 单片机应用系统的构建

下面以一个家用多功能定时器的设计为例，介绍单片机系统的构建方法。

1. 家用多功能定时器的设计要求

下面是一个带语音提示的家用电能表的主要功能和技术要求：

（1）能够预置并存储 16 个定时时间；

- (2) 定时时间为 1 s ~ 24 h，定时误差小于 10 ms；
- (3) 用数码管显示预置时间及剩余时间的时、分、秒；
- (4) 具有语音和数码显示两种时间到的提示方式；
- (5) 用按键预置定时时间；
- (6) 有“时间到”开关量输出功能。

2. 系统框图及系统工作流程

(1) 系统框图

如果用传统的电路实现该多功能定时器，则需要时基电路、定时计数器、显示及其控制电路、键盘扫描电路、语音控制电路、存储器及控制电路，以及输出控制电路等，整个系统会比较复杂。用单片机来设计则电路就简单多了。该定时器所需的时基电路、定时计数器、显示控制电路、键盘扫描电路、语音控制电路、存储器及控制电路、输出控制电路，全部可以用一片单片机取代。图 1 - 1 所示为用单片机实现的带语音提示功能的家用多功能定时器系统框图。从该框图看，除了单片机外，只需要加显示器、键盘、语音芯片及驱动电路等就可以了。该电路非常简单。用单片机实现的带语音提醒的家用多功能定时器其实并不简单，因为还要考虑如何使该系统按预定的工作流程工作。

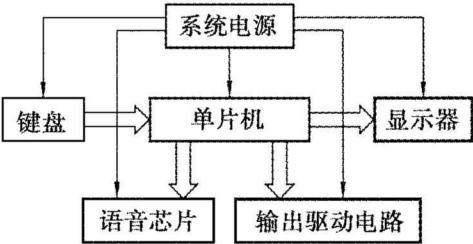


图 1 - 1 家用多功能定时器系统框图

(2) 系统工作流程

根据系统的设计要求，可得其主要工作流程如图 1 - 2 所示。关于预置定时时间的工作流程，此处不做进一步介绍。在这个系统中，所有的工作都是受单片机控制的。那么，单片机又是怎样使得系统能够按照图 1 - 2 所示的工作流程工作的呢？

实际上，尽管单片机内部集成有诸如 ADC、DAC、I/O 接口、定时计数器、电压比较器、E²PROM 存储器、PWM、DMA 等众多的电路以及各类通信总线，但是，如果在它的程序存储器里没有程序，则各功能部件将根本不能运作，更不要说协调一致地按规定流程工作了，即没有程序的单片机无任何功能。

具体到单片机控制的家用多功能定时器，除了在进行硬件设计时要弄清系统对硬件资源的要求，如内部资源能够满足其要求的单片机等外，还要编制一个应用程序：先将单片机内部的相关资源，如定时计数器、I/O 接口等进行整合（此过程称为初始化）；再用一条条按系统工作流程要求顺序排列组合的语句（即单片机能够识别的命令）控制各个功能部件去执行相关的操作，如从接有按键的 I/O 接口读取按键信息，根据按键的情况，或向接有显示器的 I/O 接口输送显示数据，或启动片内的定时计数器工作……可见，正确地编写程序，是确保应用系统按工作流程运作的至关重要的一环。

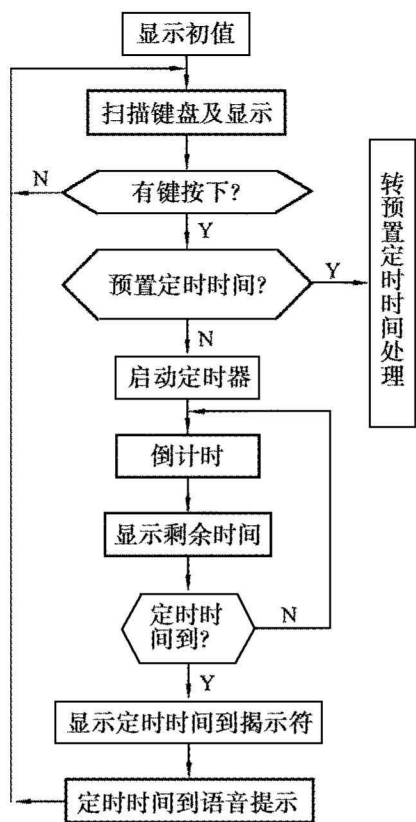


图 1-2 家用定时器工作流程

1.3.2 单片机产品的设计过程

图 1-3 所示为单片机系统设计的流程。初学者对单片机系统设计中需涉及的软件及硬件功能分配、硬件电路设计、软件设计、软件调试、软件与硬件联调、开发工具、程序固化等，都应非常熟悉。

1. 软件及硬件功能分配

在单片机系统中，实现系统功能的方式有用软件实现和用硬件实现两种。在明确了系统的要求以后，必须对软件和硬件进行功能分配。通常，对速度要求较高的功能多用硬件实现，而对速度要求不高的则尽量用软件实现。此外，软、硬件各自实现哪些功能还与系统对成本的要求、开发工具的支持情况，以及设计者本人对单片机的资源配备情况的熟悉程度有关。

具体到上述家用多功能定时器，由于其本身对速度的要求很低，且属于家用型产品，应当尽量降低造价，应按凡是用软件能够实现的功能，就不用硬件来实现的原则进行功能分配。

进行软、硬件功能分配时，要求熟悉各种单片机的片内资源。

2. 硬件电路设计

对单片机系统的硬件设计必须建立在熟悉单片机的片内资源，以及清楚其 I/O 接口的功能分配和电气特性的基础上。例如，I/O 接口的驱动能力，某 I/O 接口是否能作为双向

接口，有无中断响应功能，等等。

通常，在单片机应用系统的硬件设计中要考虑诸如存储器扩展、I/O 接口的扩展、前向输入通道的设计、后向输出通道的设计、人机界面的设计、通信电路的设计、印刷电路板的设计与制作、负载容限、信号逻辑电平兼容性、电源系统的配置、抗干扰措施的实施等内容。

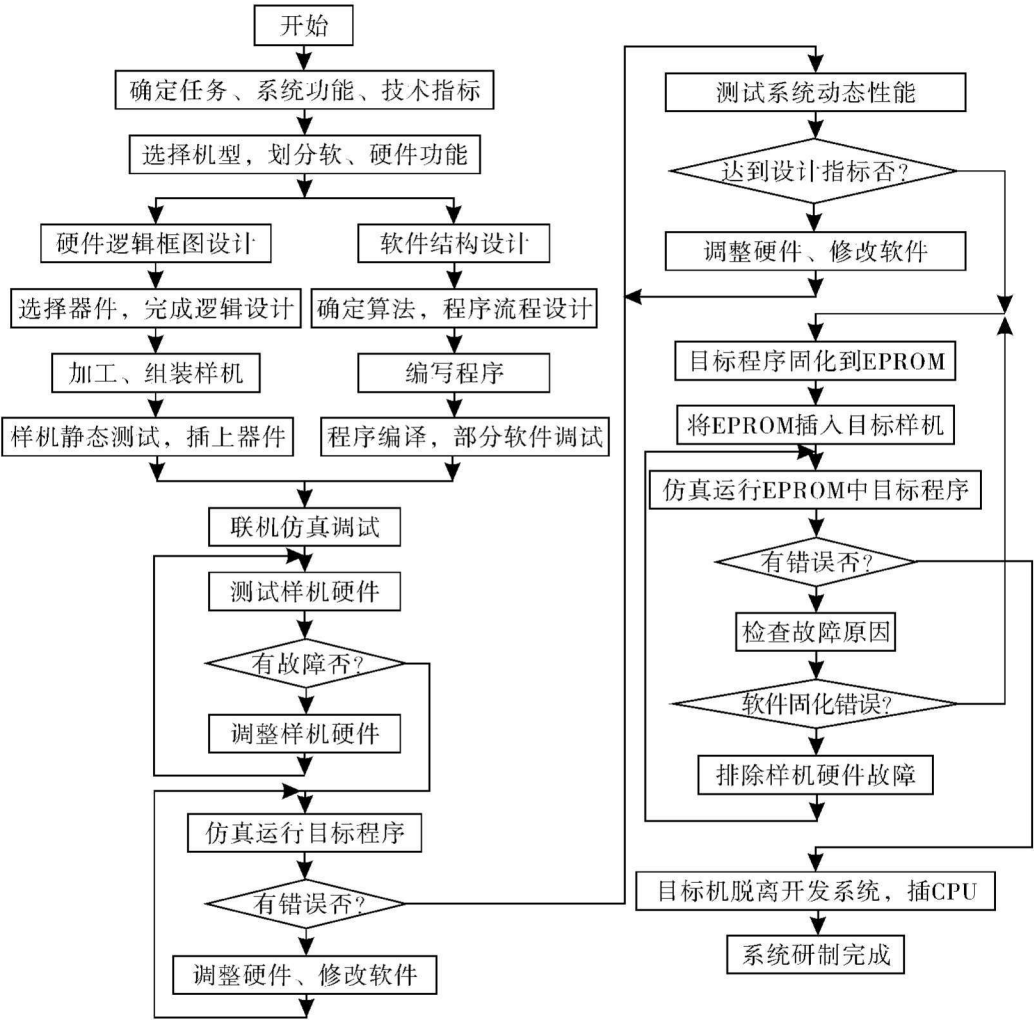


图 1-3 单片机系统设计流程

3. 软件设计

软件设计是单片机系统设计中工作难度和工作量最大的部分。在进行软件设计前，设计者必须清楚地了解所选单片机内部的硬件资源，至少是本项设计中所用到的功能部件的功能、相关的特殊功能寄存器及其设置方法，I/O 接口的功能设置，等等。最重要的是，要熟悉该单片机的指令系统。只有掌握了以上单片机知识，才能通过指令的有序集合即编程，有效地调动单片机的片内资源并通过对 I/O 接口的操作，最终实现系统所要求的测试和控制功能。学习单片机应该熟悉单片机内部功能部件和 I/O 接口的功能、相关特殊功能寄存器的设置方法以及单片机的指令系统。当然，C 语言也是当前单片机开发的主流编程

语言。

4. 软件调试和软、硬件联调

软件调试是分阶段检验程序的过程，软、硬件联调是检验程序能否与硬件系统有机结合，以及硬件系统有无故障、设计是否合理，软、硬件设计是否需要调整的过程。如果通过了软、硬件联调，则系统基本功能的实现就无问题。

对于单片机，除了能测量其 I/O 接口的状态外，其内部的工作过程是看不到的。看不到内部的工作过程，就无法进行软件调试，更不用说软、硬件联调了，这就引出了开发工具的问题。所谓单片机的开发工具，是指帮助设计者在没有将一个具体的、编制了正确程序的单片机安装在单片机系统中之前，替代该单片机对系统进行控制的软件和硬件系统。这些替代单片机的软件和硬件系统，实际上是在模仿将开发的产品中真实的单片机。不同之处在于，这些仿真单片机是透明的，无论其片内资源的状况，还是程序执行后的结果，都可以通过软件的界面看到；同时这些仿真单片机又是可控的，使用者可以直接修改相关的寄存器的内容，改变程序运行的结果，这些仿真单片机内的程序还可以用多种方式运行，以方便使用者分阶段或整体地检测程序运行的情况。这些开发工具统称为仿真器。

5. 程序固化

程序固化是将在仿真器中调试通过的程序写进真实的单片机的过程。这一过程可以通过专用下载器实现。

6. 脱机运行检查

由于单片机实际运行环境和仿真环境有所不同，即使仿真调试合格，脱机运行时也可能出错。所以，在正式投入使用之前，应试运行一段时间，针对出现的问题，修改硬件、软件或总体设计方案。

练习题

1. 试比较单片机、PLC、工控机、DCS、FCS 等的不同。
2. 查找资料说明嵌入式系统的分类。
3. MCS-51 系列单片机与 80C51 系列单片机的异同点是什么？
4. 试举 1~2 例单片机应用实例，画出系统的结构框图和工作控制流程。
5. 单片机的发展大致分为哪几个阶段？
6. 单片机主要应用在哪些领域？
7. MCS-51 系列单片机的类型有哪些？