



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高等学校自动化专业系列教材  
高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划

国家级精品教材

Principles and Applications of Microcontroller:  
Foundation of Embedded Technologies  
(Second Edition)

# 单片机原理及应用 ——嵌入式技术基础（第2版）

黄勤 主编

Huang Qin

李楠 副主编

Li Nan



清华大学出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



全国高等学校自动化专业系列教材  
教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会牵头规划

国家级精品教材

Principles and Applications of Microcontroller:  
Foundation of Embedded Technologies  
(Second Edition)

# 单片机原理及应用

## ——嵌入式技术基础（第2版）

重庆大学 黄勤 主编  
Huang Qin

重庆大学 李楠 副主编  
Li Nan

胡青 盛朝强 凌睿 余嘉 编著  
Hu Qing Sheng Chaoqiang Ling Rui Yu Jia

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书以嵌入式系统分类为引线,给出了以单片机为核心部件的嵌入式系统的主要特点,全面介绍 MCS-51 系列单片机的原理、接口及应用技术。全书共分 9 章,主要内容包括:概论,MCS-51 系列单片机的资源配置,MCS-51 系列单片机的指令系统及汇编语言程序设计,单片机的 C 语言编程,MCS-51 系列单片机的在片接口及中断,MCS-51 系列单片机的扩展技术,单片机应用系统的接口技术,单片机应用系统设计,单片机应用系统设计实例。各章均配有习题,以帮助读者深入学习。

本书可作为高等院校自动化、计算机、电气工程、机电一体化及相关专业的本科、专科教材,也可作为从事单片机应用开发的工程技术人员的参考书。

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 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及应用:嵌入式技术基础/黄勤主编.—2版.—北京:清华大学出版社,2018  
(全国高等学校自动化专业系列教材)

ISBN 978-7-302-50868-7

I. ①单… II. ①黄… 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(2018)第 178601 号

责任编辑:王一玲 赵 凯

封面设计:傅瑞学

责任校对:时翠兰

责任印制:刘海龙

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:175mm×245mm 印 张:22.75 字 数:484千字

版 次:2010年9月第1版 2018年10月第2版 印 次:2018年10月第1次印刷

定 价:59.00元

产品编号:077102-01

# “全国高等学校自动化专业系列教材”编审委员会

---

顾问(按姓氏笔画):

王行愚(华东理工大学)	冯纯伯(东南大学)
孙优贤(浙江大学)	吴启迪(同济大学)
张嗣瀛(东北大学)	陈伯时(上海大学)
陈翰馥(中国科学院)	郑大钟(清华大学)
郑南宁(西安交通大学)	韩崇昭(西安交通大学)

主任委员: 吴澄(清华大学)

副主任委员: 赵光宙(浙江大学) 萧德云(清华大学)

委员(按姓氏笔画):

王雄(清华大学)	方华京(华中科技大学)
史震(哈尔滨工程大学)	田作华(上海交通大学)
卢京潮(西北工业大学)	孙鹤旭(河北工业大学)
刘建昌(东北大学)	吴刚(中国科技大学)
吴成东(沈阳建筑工程学院)	吴爱国(天津大学)
陈庆伟(南京理工大学)	陈兴林(哈尔滨工业大学)
郑志强(国防科技大学)	赵曜(四川大学)
段其昌(重庆大学)	程鹏(北京航空航天大学)
谢克明(太原理工大学)	韩九强(西安交通大学)
褚健(浙江大学)	蔡鸿程(清华大学出版社)
廖晓钟(北京理工大学)	戴先中(东南大学)

工作小组(组长): 萧德云(清华大学)

(成员): 陈伯时(上海大学) 郑大钟(清华大学)  
田作华(上海交通大学) 赵光宙(浙江大学)  
韩九强(西安交通大学) 陈兴林(哈尔滨工业大学)  
陈庆伟(南京理工大学)

(助理): 郭晓华(清华大学)

责任编辑: 王一玲(清华大学出版社)

---



为适应我国对高等学校自动化专业人才培养的需要,配合各高校教学改革的进程,创建一套符合自动化专业培养目标和教学改革要求的新型自动化专业系列教材,“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”(简称“教指委”)联合了“中国自动化学会教育工作委员会”“中国电工技术学会高校工业自动化教育专业委员会”“中国系统仿真学会教育工作委员会”和“中国机械工业教育协会电气工程及自动化学科委员会”四个委员会,以教学创新为指导思想,以教材带动教学改革为方针,设立专项资助基金,采用全国公开招标方式,组织编写出版了一套自动化专业系列教材——“全国高等学校自动化专业系列教材”。

本系列教材主要面向本科生,同时兼顾研究生;覆盖面包括专业基础课、专业核心课、专业选修课、实践环节课和专业综合训练课;重点突出自动化专业基础理论和前沿技术;以文字教材为主,适当包括多媒体教材;以主教材为主,适当包括习题集、实验指导书、教师参考书、多媒体课件、网络课程脚本等辅助教材;力求做到符合自动化专业培养目标,反映自动化专业教育改革方向,满足自动化专业教学需要;努力创造使之成为具有先进性、创新性、适用性和系统性的特色品牌教材。

本系列教材在“教指委”的领导下,从2004年起,通过招标机制,计划用3~4年时间出版50本左右教材,2006年开始陆续出版问世。为满足多层面、多类型的教学需求,同类教材可能出版多种版本。

本系列教材的主要读者群是自动化专业及相关专业的大学生和研究生,以及相关领域和部门的科学工作者和工程技术人员。我们希望本系列教材既能为在校大学生和研究生的学习提供内容先进、论述系统和适于教学的教材或参考书,也能为广大科学工作者和工程技术人员知识更新与继续学习提供适合的参考资料。感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持,并欢迎提出批评和意见。

“全国高等学校自动化专业系列教材”编审委员会

2005年10月于北京

自动化学科有着光荣的历史和重要的地位。20世纪50年代我国政府就十分重视自动化学科的发展和自动化专业人才的培养。五十多年来,自动化科学技术在航空、航天等众多领域发挥了重大作用,例如“两弹一星”的伟大工程就包含了许多自动化科学技术的成果。自动化科学技术也改变了我国工业整体的面貌,不论是石油化工、电力、钢铁,还是轻工、建材、医药等领域都要用到自动化手段,在国防工业中自动化的作用更是巨大的。现在,世界上有很多非常活跃的领域都离不开自动化技术,比如机器人、月球车等。另外,自动化学科对一些交叉学科的发展同样起到了积极的促进作用,例如网络控制、量子控制、流媒体控制、生物信息学、系统生物学等学科就是在系统论、控制论、信息论的影响下得到了不断的发展。在整个世界已经进入信息时代的背景下,中国要完成工业化的任务还很重,或者说我们正处在后工业化的阶段。因此,国家提出走新型工业化的道路和“信息化带动工业化,工业化促进信息化”的科学发展观,这对自动化科学技术的发展是一个前所未有的战略机遇。

机遇难得,人才更难得。要发展自动化学科,人才是基础、是关键。高等学校是人才培养的基地,或者说人才培养是高等学校的根本。作为高等学校的领导和教师始终要把人才培养放在第一位,具体对自动化系或自动化学院的领导和教师来说,要时刻想着为国家关键行业和战线培养和输送优秀的自动化技术人才。

影响人才培养的因素很多,涉及教学改革方方面面,包括如何拓宽专业口径、优化教学计划、增强教学柔性、强化通识教育、提高知识起点、降低专业重心、加强基础知识、强调专业实践等,其中构建融会贯通、紧密配合、有机联系的课程体系,编写有利于促进学生个性发展、培养学生创新能力的教材尤为重要。清华大学吴澄院士领导的“全国高等学校自动化专业系列教材”编审委员会,根据自动化学科对自动化技术人才素质与能力的需求,充分汲取国外自动化教材的优势与特点,在全国范围内,以招标方式,组织编写了这套自动化专业系列教材,这对推动高等学校自动化专业发展与人才培养具有重要的意义。这套系列教材的建设有新思路、新机制,适应了高等学校教学改革与发展的新形势,立足创建精品教材,重视实

践性环节在人才培养中的作用,采用了竞争机制,以激励和推动教材建设。在此,我谨向参与本系列教材规划、组织、编写的老师,致以诚挚的感谢,并希望该系列教材在全国高等学校自动化专业人才培养中发挥应有的作用。

吴恪迪 教授

2005年10月于教育部

“全国高等学校自动化专业系列教材”编审委员会在对国内外部分大学有关自动化专业的教材做深入调研的基础上,广泛听取了各方面的意见,以招标方式,组织编写了一套面向全国本科生(兼顾研究生)、体现自动化专业教材整体规划和课程体系、强调专业基础和理论联系实际的系列教材,自2006年起将陆续面世。全套系列教材共50多本,涵盖了自动化学科的主要知识领域,大部分教材都配置了包括电子教案、多媒体课件、习题辅导、课程实验指导书等立体化教材配件。此外,为强调落实“加强实践教育,培养创新人才”的教学改革思想,还特别规划了一组专业实验教程,包括“自动控制原理实验教程”“运动控制实验教程”“过程控制实验教程”“检测技术实验教程”和“计算机控制系统实验教程”等。

自动化科学技术是一门应用性很强的学科,面对的是各种各样错综复杂的系统,控制对象可能是确定性的,也可能是随机性的;控制方法可能是常规控制,也可能需要优化控制。这样的学科专业人才应该具有什么样的知识结构,又应该如何通过专业教材来体现,这正是“系列教材编审委员会”规划系列教材时所面临的问题。为此,设立了“自动化专业课程体系结构研究”专项研究课题,成立了由清华大学萧德云教授负责,包括清华大学、上海交通大学、西安交通大学和东北大学等多所院校参与的联合研究小组,对自动化专业课程体系结构进行深入的研究,提出了按“控制理论与工程、控制系统与技术、系统理论与工程、信息处理与分析、计算机与网络、软件基础与工程、专业课程实验”等知识板块构建的课程体系结构。以此为基础,组织规划了一套涵盖几十门自动化专业基础课程和专业课程的系列教材。从基础理论到控制技术,从系统理论到工程实践,从计算机技术到信号处理,从设计分析到课程实验,涉及的知识单元多达数百个、知识点几千个,介入的学校50多所,参与的教授120多人,是一项庞大的系统工程。从编制招标要求、公布招标公告,到组织投标和评审,最后商定教材大纲,凝聚着全国百余名教授的心血,为的是编写出版一套具有一定规模、富有特色的、既考虑研究型大学又考虑应用型大学的自动化专业创新型系列教材。

然而,如何进一步构建完善的自动化专业教材体系结构?如何建设基础知识与最新知识有机融合的教材?如何充分利用现代技术,适应现代大学生的接受习惯,改变教材单一形态,建设数字化、电子化、网络化等多元



形态、开放性的“广义教材”等问题都还有待我们进行更深入的研究。

本套系列教材的出版,对更新自动化专业的知识体系、改善教学条件、创造个性化的教学环境,一定会起到积极的作用。但是由于受各方面条件所限,本套教材从整体结构到每本书的知识组成都可能存在许多不当甚至谬误之处,还望使用本套教材的广大教师、学生及各界人士不吝批评指正。

吴俊 院士

2005年10月于清华大学



随着计算机技术的发展,嵌入式技术越来越广泛地应用于社会各领域之中,单片微型计算机(简称单片机)作为其嵌入式系统的核心部件,得到了广泛应用。单片机具有集成度高、功能强、可靠性高、系统结构简单、易于掌握、价格低廉等优点,在工业测控系统、智能仪器仪表、家用电器等诸多领域得到了广泛的应用。单片机技术的应用水平高低已成为衡量一个国家工业化发展水平高低的标志之一。

本书是在作者多年来讲授该门课程和从事单片机应用系统研究工作的基础上,参考国内外大量文献和其他相关教材,精心编写而成的。本书可作为自动化专业、机电一体化专业和电气工程专业本科教材,也可作为相关专业专科教材,还可作为高等教育自学教材和有关工程技术人员的参考书。

本书以嵌入式微控制器为例,选用 MCS-51 系列单片机为背景机,系统地介绍单片机的相关技术。全书共 9 章。第 1 章介绍以嵌入式系统分类为引线的单片机的结构特点、工作原理及发展趋势;第 2 章介绍 MCS-51 系列单片机的内部硬件资源、存储器组织结构及外部特性;第 3 章介绍单片机的指令系统及汇编语言程序设计,包括寻址方式、常用指令介绍、汇编语言程序设计步骤及方法,并给出一些常用的实用子程序;第 4 章简介单片机的 C 语言编程方法;第 5 章介绍 51 单片机片内接口及中断,包括 51 单片机的并行输入输出接口及应用、串行输入输出接口及应用、定时器/计数器及应用、中断系统及其应用;第 6 章介绍 51 单片机系统的扩展技术,包括外部程序存储器的扩展技术、外部数据存储器的扩展技术、并行输入输出接口扩展技术以及串行输入输出接口扩展技术,并通过实例介绍各种扩展技术的简单应用方法;第 7 章介绍单片机应用系统接口技术,包括 LED 显示器、LCD 显示器、键盘、A/D 转换器、D/A 转换器以及通信的相关技术及应用;第 8 章介绍单片机应用设计的基本原则、过程和方法、可靠性设计及开发工具;第 9 章介绍单片机应用系统设计实例,通过 4 个具体的应用实例,使读者掌握如何设计满足一定要求的单片机应用系统。

本书在介绍单片机原理的基础上,注重原理与应用的有机结合,以帮助读者建立单片机系统及系统设计的整体概念;为了便于读者对单片机的理解和自学,书中给出了相应的设计实例和习题,使读者通过对本书的学习,了解单片机的特点及相关应用常识,并具备设计一个单片机应用系

统的基本能力。

本书由黄勤任主编,并编写第1、2、5、6章;李楠任副主编,并编写第3章及7.1.1小节、7.1.3小节、7.2节、7.3节;胡青编写第4章及7.1.2小节、7.4节;余嘉编写第5~7章的所有C程序设计部分;凌睿编写第8章;盛朝强编写第9章。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

2018年2月

第 1 章 概论 .....	1
1.1 嵌入式技术及发展趋势 .....	1
1.1.1 计算机的分类 .....	1
1.1.2 嵌入式系统 .....	2
1.1.3 嵌入式系统的发展趋势 .....	4
1.2 单片机技术的发展过程及趋势 .....	5
1.2.1 单片机技术的发展过程 .....	5
1.2.2 单片机技术的发展趋势 .....	6
1.3 单片机的典型结构及工作原理 .....	8
1.3.1 单片机组成及结构 .....	8
1.3.2 单片机的工作原理 .....	9
1.4 典型单片机的结构及特点 .....	12
1.4.1 MCS-51 系列单片机的结构及特点 .....	12
1.4.2 其他单片机的结构及特点 .....	13
1.5 单片机应用系统的开发过程 .....	15
1.6 本书的结构及教学安排 .....	16
习题 .....	17
第 2 章 MCS-51 系列单片机的资源配置 .....	18
2.1 MCS-51 系列单片机的在片资源及外部特性 .....	18
2.1.1 MCS-51 系列单片机的在片资源 .....	18
2.1.2 MCS-51 系列单片机的外部特性 .....	19
2.2 MCS-51 系列单片机的存储器系统 .....	21
2.2.1 程序存储器 .....	21
2.2.2 数据存储器 .....	22
2.3 MCS-51 系列单片机的时钟电路与复位电路 .....	26
2.3.1 时钟电路 .....	26
2.3.2 复位电路 .....	27
习题 .....	28

第3章 MCS-51系列单片机的指令系统及汇编语言程序设计 .....	29
3.1 寻址方式 .....	29
3.1.1 立即寻址 .....	30
3.1.2 直接寻址 .....	30
3.1.3 寄存器寻址 .....	31
3.1.4 寄存器间接寻址 .....	32
3.1.5 变址寻址 .....	33
3.1.6 相对寻址 .....	34
3.1.7 位寻址 .....	35
3.2 指令系统 .....	36
3.2.1 数据传送类指令 .....	36
3.2.2 运算和移位指令 .....	38
3.2.3 控制转移指令 .....	42
3.2.4 位操作指令 .....	45
3.3 汇编语言程序设计 .....	46
3.3.1 汇编语言程序设计步骤 .....	47
3.3.2 汇编语言程序设计方法 .....	51
3.4 实用汇编语言程序设计 .....	64
3.4.1 四则运算子程序 .....	64
3.4.2 数制变换子程序 .....	72
3.4.3 数据处理子程序 .....	77
3.4.4 其他子程序 .....	83
习题 .....	87
第4章 单片机的C语言编程 .....	92
4.1 C51的程序结构 .....	92
4.2 C51的数据类型及运算符 .....	95
4.2.1 C51的存储类型 .....	95
4.2.2 C51的存储模式 .....	96
4.2.3 C51的数据类型 .....	96
4.2.4 C51的指针 .....	99
4.2.5 C51对扩展外设的访问 .....	101
4.2.6 C51的运算符 .....	102
4.3 C51的函数 .....	105
4.3.1 C51函数的定义 .....	105
4.3.2 C51函数参数传递及返回值传递 .....	107

4.3.3	C51 函数的调用 .....	110
4.3.4	C51 的库函数和宏定义 .....	111
4.4	C51 程序设计 .....	113
4.4.1	C51 程序设计方法 .....	113
4.4.2	C51 程序设计实例 .....	113
习题	.....	115
<b>第 5 章</b>	<b>MCS-51 系列单片机的片内接口及中断 .....</b>	<b>117</b>
5.1	并行 I/O 接口及其应用 .....	117
5.1.1	并行 I/O 接口的功能 .....	117
5.1.2	并行 I/O 接口的结构 .....	118
5.1.3	并行 I/O 接口的应用 .....	122
5.2	定时器/计数器及其应用 .....	125
5.2.1	定时器/计数器的结构和工作原理 .....	126
5.2.2	定时器/计数器的工作方式 .....	127
5.2.3	定时器/计数器的编程 .....	129
5.2.4	定时器/计数器的应用 .....	132
5.3	中断系统及其应用 .....	136
5.3.1	中断系统结构 .....	136
5.3.2	中断处理过程 .....	140
5.3.3	中断的应用 .....	142
5.4	串行接口及其应用 .....	146
5.4.1	串行口的结构 .....	147
5.4.2	串行口的工作方式 .....	148
5.4.3	串行口的使用 .....	150
5.4.4	串行口的应用 .....	154
习题	.....	170
<b>第 6 章</b>	<b>MCS-51 系列单片机的扩展技术 .....</b>	<b>172</b>
6.1	外部存储器的扩展技术 .....	172
6.1.1	外部程序存储器的扩展技术 .....	172
6.1.2	外部数据存储器的扩展技术 .....	179
6.2	并行接口的扩展技术 .....	183
6.2.1	简单输入输出口的扩展 .....	183
6.2.2	可编程并行输入输出 8255 的扩展 .....	185
6.2.3	可编程并行输入输出 8155 的扩展 .....	191
6.3	串行接口的扩展技术 .....	196

6.3.1	I <sup>2</sup> C 串行总线 .....	196
6.3.2	51 单片机与 I <sup>2</sup> C 总线器件的接口 .....	198
6.3.3	串行 E <sup>2</sup> PROM 与 51 单片机接口实例 .....	200
	习题 .....	208
<b>第 7 章</b>	<b>单片机应用系统接口技术 .....</b>	<b>210</b>
7.1	键盘和显示器接口技术 .....	210
7.1.1	LED 接口技术 .....	210
7.1.2	LCD 接口技术 .....	213
7.1.3	键盘接口技术 .....	220
7.2	模数转换 .....	241
7.2.1	模数转换原理 .....	241
7.2.2	常用模数转换器及接口技术 .....	245
7.3	数模转换 .....	259
7.3.1	数模转换原理 .....	260
7.3.2	常用数模转换器及接口技术 .....	262
7.4	网络通信技术 .....	278
7.4.1	RS-485 .....	278
7.4.2	CAN .....	281
7.4.3	以太网 .....	284
	习题 .....	288
<b>第 8 章</b>	<b>单片机应用系统设计 .....</b>	<b>293</b>
8.1	系统设计的基本原则和要求 .....	293
8.1.1	系统设计的原则 .....	294
8.1.2	系统设计的基本要求 .....	295
8.2	系统设计的过程和方法 .....	295
8.3	单片机应用系统的开发工具 .....	303
8.4	单片机应用系统的可靠性设计 .....	304
8.4.1	电路的可靠性设计 .....	305
8.4.2	印制电路板的可靠性设计 .....	307
8.4.3	软件的可靠性设计 .....	308
<b>第 9 章</b>	<b>单片机应用系统设计实例 .....</b>	<b>309</b>
9.1	标准状态气体流量测量系统 .....	309
9.1.1	系统需求分析及总体设计 .....	309
9.1.2	系统硬件设计 .....	310

9.1.3	系统软件设计	315
9.2	电热恒温箱控制系统	318
9.2.1	系统需求分析及总体设计	318
9.2.2	系统硬件设计	318
9.2.3	系统软件设计	320
9.3	小功率直流伺服系统	323
9.3.1	系统需求分析及总体设计	323
9.3.2	系统硬件设计	323
9.3.3	系统软件设计	329
9.4	智能小车图像循迹系统	330
9.4.1	系统需求分析及总体设计	330
9.4.2	系统硬件设计	330
9.4.3	系统软件设计	335
	习题	337
附录 A	MCS-51 系列单片机指令表	338
	参考文献	343





为适应嵌入式应用的需要,单片微型计算机应运而生,它有自己的技术特征、规范和应用领域。从 1976 年至今的四十多年中,单片机技术已发展成为计算机领域一个非常有前途的分支。单片机具有体积小、控制功能强、应用灵活、价格低廉等优点,非常适合于嵌入式产品,在工业控制、智能仪表、家用电器、智能玩具、通信设备等诸多领域均显现出了较为广阔的应用前景。

## 1.1 嵌入式技术及发展趋势

### 1.1.1 计算机的分类

随着计算机及相关技术的迅速发展,计算机的类型也随之而发生了不断的分化,形成了各种不同种类的计算机,就其性能指标和应用领域的不同,很难找到一个精确的标准对其进行分类。若从计算机综合性能指标来分,可分为巨型计算机、大型计算机、中型计算机、小型计算机和微型计算机。若以应用目的进行分类,则又可分为通用计算机和嵌入式计算机。

#### 1. 通用计算机

通用计算机的典型产品为 PC(个人计算机,即微型计算机),其核心部件是中央处理器(Central Processing Unit, CPU),经总线与存储器、各种接口(连接外部设备)等相连构成计算机的标准形态,通过配置不同的应用软件构建的系统广泛应用在社会的方方面面,是发展最快、应用最为普及的计算机。

#### 2. 嵌入式计算机

嵌入式计算机是指以嵌入式系统的形式隐藏在各种装置、产品和系统中,并实现对其进行智能化控制的专用计算机系统。该系统是以应用为中心,以计算机技术为基础,软件和硬件可增减,针对具体应用系统,对功能、