

# 单片机原理 & 系统设计 实用教程

胡学海 主编  
栗思科 主审

DANPIANJI  
YUANLI  
JI XITONG  
SHEJI  
SHIYONG  
JIAOCHENG

胡学海 主编

粟思科 主审

# 单片机原理 及系统设计 实用教程

DANPIANJI  
YUANLI  
JI XITONG  
SHEJI  
SHIYONG  
JIAOCHENG



化学工业出版社

本书面向单片机的学习和开发人员,按照单片机的教学大纲和知识体系,详细介绍了单片机的设计原理和系统设计应用实例。本书分为基础篇和应用提高篇,其中基础篇介绍了单片机原理的基础知识,讲述单片机的基本知识、基本结构、工作原理,扩展方法、编写语言等;应用提高篇主要介绍单片机应用的新技术,如 USB 总线、CAN 总线、液晶、PS/2 键盘、I<sup>2</sup>C 总线,IC 卡读写器、嵌入式实时操作系统(RTOS)等,主要是供开发人员使用。书中还给出了大量的综合应用实例,希望读者能从中获益。随书赠送的配套教学资源中含有大量的学习资源、程序、电子教案、试题与答案,读者可到 <http://download.cip.com.cn> “配书资源”一栏中下载。

本书可作为高等院校通信、控制、电工、电子、计算机等专业的教材;也可供从事单片机系统开发的工程技术人员学习使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

单片机原理及系统设计实用教程/胡学海主编. —北京:  
化学工业出版社, 2011. 9  
ISBN 978-7-122-12171-4

I. 单… II. 胡… III. ①单片微型计算机-理论-教材  
②单片微型计算机-系统设计-教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 174795 号

---

责任编辑: 李军亮  
责任校对: 陈 静

文字编辑: 徐卿华  
装帧设计: 尹琳琳

---

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)  
印 装: 化学工业出版社印刷厂  
787mm×1092mm 1/16 印张 20 字数 500 千字 2012 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010 64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899  
网 址: <http://www.cip.com.cn>  
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

# 前言

“单片机原理及其应用”不但是目前各个大专院校计算机应用专业及计算机相关专业的一个重要课程，同时也是一个电子类工程师应该掌握的三大技术之一。根据近年来编者带本专科毕业设计的经历，发现许多学生没有能掌握好单片机原理，也不清楚该如何应用的根本原因是他们很难理解单片机的一些概念，而这些概念和计算机原理有本质区别，如定时器等单片机集成的功能电路的使用。同时，一些学生又很难建立单片机原理的系统知识，很难从微机原理的知识引申到单片机学习中。编者按自己的理解和学生们讨论了单片机设计的原理及应用，很快学生们就掌握单片机应用系统设计的技巧。最让编者欣慰的是，凭借着熟练的设计技巧，学生们都顺利找到了理想的工作。笔者总结多年的教学经验编写了《单片机原理及应用系统设计》一书。

《单片机原理及应用系统设计》一书出版后，获得了广大读者和教师的广泛欢迎，被多家高校选择为教材和参考书。但该书主要是针对自学者和开发参考书使用，作为教材，其理论参数阐述还不够简明、清楚、系统；内容组织也不够合理、规范；随着时间的推移，有些内容还需要更新和修改；更为重要的是如何开展试验，能使读者更好地理论联系实际等内容也没有涉及。为弥补书中的不足，使内容更加完善和实用，笔者经过慎重考虑和充分准备，又编写《单片机原理及系统设计实用教程》一书。

本书的定位是教材+实验教程+工具书，在单片机及其应用多种新技术的基础上，结合项目开发的实际经验而编写的。

全书共分 17 章，全面阐述了 MCS-51 系列单片机的基本原理及其最新的应用技术。

本书一方面介绍了 MCS-51 系列单片机的基本结构、组成、中断系统、存储器以及汇编语言程序设计。通过这些内容的学习，可使学生对 MCS-51 系列单片机有一个总体的概念和认识，并在掌握基本硬件的基础上用软件实现单片机的一些基本功能。在单片机的应用中详细介绍了并行口、串行口、定时器以及相应的扩展和应用，简单介绍了模拟量和数字量的相互转换以及转换器件与单片机的接口，同时综合前面所学内容，列举了单片机典型应用实例。

本书另一方面介绍了对目前单片机领域的流行语言 C51 及其编译器、常用的 AT89C51 的改进型芯片 AT89S51 相关新技术、嵌入式实时操作系统（RTOS）。

单片机的程序设计应该以 C 语言为主，以汇编语言为辅。采用 C 语言也不必对单片机和硬件接口的结构有很深入的了解，编译器可以自动完成变量的存储单元的分配，编程者就可以专注于应用软件部分的设计，大大加快软件的开发速度。采用 C 语言可以很容易地进行单片机的程序移植工作，有利于产品中单片机的重新选型。汇编语言主要在时间要求比较严格的模块中使用。本书同时采用 C 语言和汇编语言进行讲解，这样不但容易理解单片机程序设计的实质，也有助理解 C 语言在单片机中的应用技巧，这也是本书的一大特点。当然出于教学课时的考虑，也可以挑选一种语言来讲解。

为了提高开发效率，需要在系统软件上开发应用软件，才能事半功倍。嵌入式实时操作系统（RTOS）就是一个很好的嵌入式软件的开发平台。Small RTOS51 是为 51 系列单片机

而编写的。它是完全免费的、源代码公开的多任务实时操作系统。它可在无任何外部数据存储器的单片 80C51 系统上运行，并且是可移植的。本书介绍 Small RTOS51 和一些基本概念，并详细分析 Small RTOS51 的工作原理，给出部分常用硬件在 Small RTOS51 下驱动程序的源代码。这些源代码在 DP51 单片机仿真实验仪上全部调试通过，且只要经过很少的改动，或是不改动，就可以在其他环境下使用，便于读者理解和掌握基于 RTOS 的编程方法。当然这一部分内容初学者可以跳过，也不作为教学的要求内容，仅供提高者参考。

本书坚持深入浅出的写作风格，在阅读方法上进行了精心设计，力求读者能在最短时间内实现从入门到精通。本书内容系统、全面而又前沿。同时本书坚持实用性和权威性，书中提供大量实例，且可以仿真验证，并提供大量工程资料，一书在手，可轻松实现设计。本书尽量精简了书中的内容，而将大量有用内容放入随书赠送的配套学习资源中，读者可以到 <http://download.cip.com.cn> “配书资源”一栏中下载。

本书将汇编指令的操作数与机器指令的代码并列、指令字节数与周期数并列，两个并列再集于一图。学习复习、编程调试时“随用随查”。初学指令，先要跑面，重在识其全貌。指令不是学会而是用会的。编程时带上问题进入场景，一遍遍地翻查找出最有效的指令，长期实践定会流出“家珍”。指令部分有意安插的一些范例是为入门后顿悟用的。

本书可以作为高等院校通信、控制、电工、电子、计算机专业的教材，也可供有关技术培训及工程技术人员自学参考之用。

本书由胡学海主编，任代蓉、卢有亮、周文健副主编，粟思科主审；主要编写人员有商洪亮，章磊等；同时参与本书编写工作的人员还有王治国、冯强、曾德惠、许庆华、程亮、周聪、黄志平、胡松、邢永峰、邵军、边海龙、刘达因、赵婷、马鸿娟、侯桐、赵光明、李胜、李辉、侯杰、王红研、王磊、闫守红、康涌泉、蒋杼倩、王小东、张森、张正亮、宋利梅、何群芬、程瑶。

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免会有不足之处，请各位读者批评指正。感谢磁动力工作室、单片机开发联盟、老古开发网的大力支持，感谢编写书中共享软件的作者和各位参考文献的作者。

胡学海  
于电子科技大学

# 目 录

## 第 1 篇 基础篇

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 绪论 .....                       | 1  |
| 习题 .....                       | 13 |
| 第 1 章 单片机结构及设计基础 .....         | 14 |
| 1.1 信息和数制 .....                | 14 |
| 1.1.1 信息 .....                 | 14 |
| 1.1.2 数制 .....                 | 15 |
| 1.1.3 数制的转换 .....              | 17 |
| 1.2 数的表示及编码 .....              | 20 |
| 1.2.1 计算机中的数据类型 .....          | 20 |
| 1.2.2 数的表示 .....               | 20 |
| 1.2.3 计算机常用码制和编码 .....         | 23 |
| 1.3 二进制运算 .....                | 25 |
| 1.4 单片机系统组成原理 .....            | 26 |
| 1.4.1 单片机系统的组成结构 .....         | 26 |
| 1.4.2 单片机系统的基本工作原理 .....       | 28 |
| 1.5 AT89S51 单片机内部结构 .....      | 29 |
| 1.5.1 MCS-51 单片机外部引脚 .....     | 36 |
| 1.5.2 MCS-51 单片机的工作方式 .....    | 38 |
| 1.6 单片机的时序 .....               | 41 |
| 1.6.1 MCS-51 的时序单位 .....       | 41 |
| 1.6.2 MCS-51 指令的取指/执行时序 .....  | 41 |
| 1.6.3 访问片外 ROM/RAM 指令的时序 ..... | 41 |
| 1.7 AT89S51 最小系统设计 .....       | 43 |
| 习题 .....                       | 44 |
| 第 2 章 汇编语言与程序设计 .....          | 45 |
| 2.1 单片机编程语言概述 .....            | 45 |
| 2.1.1 汇编语言 .....               | 45 |
| 2.1.2 高级语言 .....               | 45 |
| 2.2 51 系列单片机的汇编指令系统 .....      | 46 |
| 2.2.1 指令格式 .....               | 46 |
| 2.2.2 标志位 .....                | 46 |
| 2.2.3 寻址方式 .....               | 47 |
| 2.2.4 寻址空间及表示符号 .....          | 49 |
| 2.3 指令系统 .....                 | 50 |

|              |                             |           |
|--------------|-----------------------------|-----------|
| 2.3.1        | 数据传送指令 .....                | 50        |
| 2.3.2        | 算术操作指令 .....                | 55        |
| 2.3.3        | 逻辑操作类指令 .....               | 59        |
| 2.3.4        | 控制转移类指令 .....               | 61        |
| 2.3.5        | 布尔变量操作类指令 .....             | 65        |
| 2.3.6        | 指令小结 .....                  | 66        |
| 2.4          | 伪指令 .....                   | 70        |
| 2.5          | 51 单片机汇编程序设计 .....          | 72        |
| 2.5.1        | MCS-51 汇编语言格式 .....         | 72        |
| 2.5.2        | MCS-51 程序设计 .....           | 73        |
| 2.5.3        | 子程序设计 .....                 | 73        |
| 2.5.4        | 汇编程序的基本结构 .....             | 74        |
| 2.6          | 常见程序的编写 .....               | 76        |
| 2.6.1        | 运算程序 .....                  | 76        |
| 2.6.2        | 数据转换程序 .....                | 78        |
| 2.6.3        | 查表程序 .....                  | 78        |
| 2.6.4        | 散转程序 .....                  | 79        |
| 2.6.5        | 常见子程序范例 .....               | 79        |
|              | 习题 .....                    | 80        |
| <b>第 3 章</b> | <b>51 单片机的 C 语言设计 .....</b> | <b>82</b> |
| 3.1          | 概述 .....                    | 82        |
| 3.1.1        | 51C 源程序的结构 .....            | 82        |
| 3.1.2        | C 语言的词汇 .....               | 83        |
| 3.1.3        | C51 的数据类型 .....             | 84        |
| 3.1.4        | C51 的存储种类和存储器 .....         | 85        |
| 3.1.5        | C51 的运算符和表达式 .....          | 86        |
| 3.2          | C 语言程序设计 .....              | 88        |
| 3.2.1        | 概述 .....                    | 88        |
| 3.2.2        | 分支程序 .....                  | 90        |
| 3.2.3        | 循环语句 .....                  | 92        |
| 3.2.4        | break 和 continue 语句 .....   | 94        |
| 3.3          | 数组 .....                    | 95        |
| 3.3.1        | 数组的定义 .....                 | 95        |
| 3.3.2        | 数组元素的表示方法 .....             | 95        |
| 3.3.3        | 二维数组 .....                  | 96        |
| 3.3.4        | 字符数组 .....                  | 96        |
| 3.4          | 函数 .....                    | 97        |
| 3.4.1        | 函数的分类 .....                 | 97        |
| 3.4.2        | 函数的定义 .....                 | 98        |
| 3.4.3        | 函数的调用 .....                 | 99        |
| 3.4.4        | 函数值 .....                   | 99        |
| 3.4.5        | 函数的递归调用 .....               | 100       |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 3.5 指针 .....                      | 100        |
| 3.5.1 指针变量的类型说明 .....             | 100        |
| 3.5.2 指针变量的赋值 .....               | 100        |
| 3.5.3 指针变量的运算 .....               | 101        |
| 3.5.4 数组指针变量的使用 .....             | 101        |
| 3.6 位运算 .....                     | 102        |
| 3.7 预处理 .....                     | 103        |
| 3.7.1 宏定义 .....                   | 103        |
| 3.7.2 文件的包含 .....                 | 104        |
| 3.7.3 条件编译 .....                  | 104        |
| 3.8 混合编程 .....                    | 105        |
| 3.8.1 在 C51 语言中内嵌汇编 .....         | 105        |
| 3.8.2 参数传递 .....                  | 106        |
| 习题 .....                          | 106        |
| <b>第 4 章 单片机的中断系统 .....</b>       | <b>108</b> |
| 4.1 微机的输入/输出方式 .....              | 108        |
| 4.2 中断的概念 .....                   | 109        |
| 4.3 MCS-51 单片机的中断系统及其管理 .....     | 110        |
| 4.3.1 MCS-51 单片机的中断系统 .....       | 110        |
| 4.3.2 MCS-51 单片机的中断源和中断优先级别 ..... | 110        |
| 4.3.3 MCS-51 单片机的中断入口地址 .....     | 111        |
| 4.3.4 MCS-51 单片机的中断管理 .....       | 111        |
| 4.3.5 MCS-51 单片机的中断服务程序 .....     | 113        |
| 4.4 中断应用举例 .....                  | 113        |
| 习题 .....                          | 115        |
| <b>第 5 章 单片机的定时器/计数器 .....</b>    | <b>116</b> |
| 5.1 定时器/计数器的基本概念 .....            | 116        |
| 5.2 定时器/计数器的工作方式和控制字 .....        | 117        |
| 5.2.1 定时器/计数器的内部结构和功能 .....       | 117        |
| 5.2.2 定时器/计数器的工作原理 .....          | 117        |
| 5.2.3 定时器/计数器的控制字设置 .....         | 119        |
| 5.3 定时器/计数器的编程和应用实例 .....         | 121        |
| 习题 .....                          | 123        |
| <b>第 6 章 并行总线扩展 .....</b>         | <b>124</b> |
| 6.1 总线的概念 .....                   | 124        |
| 6.2 并行 RAM 扩展 .....               | 125        |
| 6.2.1 并行 RAM 扩展硬件设计 .....         | 125        |
| 6.2.2 并行 RAM 的汇编编程 .....          | 125        |
| 6.3 并行 Flash 存储器扩展 .....          | 127        |
| 6.3.1 并行 Flash 扩展设计 .....         | 127        |
| 6.3.2 并行 Flash 的 C 语言编程 .....     | 129        |
| 6.4 并行 I/O 扩展 .....               | 130        |



|              |                                   |            |
|--------------|-----------------------------------|------------|
| 6.4.1        | 8255A 并行 I/O 扩展芯片 .....           | 130        |
| 6.4.2        | 并行 I/O 的汇编编程 .....                | 131        |
| 6.5          | 系统键盘扩展 .....                      | 134        |
| 习题           | .....                             | 139        |
| <b>第 7 章</b> | <b>串行通信及接口 .....</b>              | <b>140</b> |
| 7.1          | 串行通信的基本原理 .....                   | 140        |
| 7.2          | 通信协议 .....                        | 141        |
| 7.3          | 51 单片机串行口的结构 .....                | 142        |
| 7.3.1        | 串口控制寄存器 SCON .....                | 142        |
| 7.3.2        | 特殊功能寄存器 PCON .....                | 142        |
| 7.3.3        | 串口工作方式 .....                      | 143        |
| 7.4          | 串行 I/O 扩展 .....                   | 144        |
| 7.5          | 单机通信 .....                        | 145        |
| 7.5.1        | PC 与单片机通信 .....                   | 145        |
| 7.5.2        | 单片机与单片机通信 .....                   | 147        |
| 7.5.3        | 多机通信 .....                        | 147        |
| 7.6          | 通信程序的调试 .....                     | 149        |
| 习题           | .....                             | 150        |
| <b>第 8 章</b> | <b>A/D 扩展 .....</b>               | <b>151</b> |
| 8.1          | A/D 的分类及工作原理 .....                | 151        |
| 8.1.1        | 积分式 A/D .....                     | 151        |
| 8.1.2        | 逐次比较型 A/D .....                   | 151        |
| 8.1.3        | 并行比较型/串并行比较型 A/D .....            | 151        |
| 8.1.4        | $\Sigma$ - $\Delta$ 调制型 A/D ..... | 152        |
| 8.1.5        | 电容阵列逐次比较型 A/D .....               | 152        |
| 8.1.6        | V-F 型 A/D .....                   | 152        |
| 8.2          | A/D 的选型及指标 .....                  | 152        |
| 8.2.1        | A/D 转换器的主要技术指标 .....              | 152        |
| 8.2.2        | 常见 A/D 介绍 .....                   | 153        |
| 8.3          | 并行 A/D 的扩展 .....                  | 153        |
| 8.3.1        | 8 位 ADC0809 并行的扩展 .....           | 154        |
| 8.3.2        | 12 位 ADC574 并行转换器的扩展 .....        | 157        |
| 8.4          | 串行 A/D 的扩展 .....                  | 160        |
| 8.4.1        | 8 位串行 ADC0832 的扩展原理 .....         | 160        |
| 8.4.2        | 16 位高精度 A/D 转换芯片 ADS7809 .....    | 163        |
| 习题           | .....                             | 166        |
| <b>第 9 章</b> | <b>D/A 扩展 .....</b>               | <b>167</b> |
| 9.1          | D/A 的分类和特性 .....                  | 167        |
| 9.2          | D/A 的选型及实用技术 .....                | 168        |
| 9.2.1        | D/A 转换器的主要技术指标 .....              | 168        |
| 9.2.2        | 常见 D/A 介绍 .....                   | 168        |
| 9.3          | 并行 D/A 扩展 .....                   | 170        |

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 9.3.1 单缓冲方式 .....                         | 171 |
| 9.3.2 双缓冲方式 .....                         | 171 |
| 9.3.3 8 位并行 DAC0830/0831/0832 的扩展原理 ..... | 172 |
| 9.3.4 DAC0830 扩展范例 .....                  | 175 |
| 9.3.5 12 位并行 DAC1208 转换器的扩展原理 .....       | 177 |
| 9.3.6 DAC1208 与 8031 单片机的接口设计范例 .....     | 178 |
| 9.4 串行 D/A 扩展 .....                       | 179 |
| 9.4.1 12 位串行 AD7543 的扩展原理 .....           | 179 |
| 9.4.2 12 位串行 AD7543 的扩展范例 .....           | 180 |
| 习题 .....                                  | 181 |
| <b>第 10 章 教学实验及开发调试环境</b> .....           | 182 |
| 10.1 单片机系统开发 .....                        | 182 |
| 10.1.1 单片机系统的开发方法 .....                   | 182 |
| 10.1.2 单片机系统的软件调试工具 .....                 | 183 |
| 10.2 Keil $\mu$ Vision3 编译器的使用 .....      | 184 |
| 10.2.1 Keil 工程文件的建立 .....                 | 184 |
| 10.2.2 工程设置 .....                         | 191 |
| 10.2.3 编译、连接 .....                        | 192 |
| 10.2.4 仿真调试 .....                         | 193 |
| 10.3 在线下载 .....                           | 195 |
| 10.4 硬件调试系统 .....                         | 197 |
| 10.5 教学实验 .....                           | 199 |
| 10.5.1 认识实验平台 .....                       | 200 |
| 10.5.2 移位及霓虹灯实验 .....                     | 202 |
| 10.5.3 键盘扫描实验 .....                       | 206 |
| 10.5.4 数字显示实验 .....                       | 211 |
| 10.5.5 定时器实验 .....                        | 214 |
| 10.5.6 中断处理实验 .....                       | 217 |
| 10.5.7 串行通信实验 .....                       | 220 |
| 习题 .....                                  | 223 |

## 第 2 篇 应用提高篇

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| <b>第 11 章 单片机应用系统人机接口技术</b> ..... | 224 |
| 11.1 PS/2 设备接口 .....              | 224 |
| 11.1.1 PS/2 的电气特性 .....           | 224 |
| 11.1.2 PS/2 协议介绍 .....            | 225 |
| 11.1.3 PS/2 设备到主机的通信过程 .....      | 225 |
| 11.1.4 主机到 PS/2 设备的通信过程 .....     | 226 |
| 11.2 常用输入接口 .....                 | 227 |
| 11.2.1 键盘简介 .....                 | 227 |
| 11.2.2 扫描码 .....                  | 228 |
| 11.2.3 鼠标 .....                   | 230 |

|                                                  |            |
|--------------------------------------------------|------------|
| 11.2.4 触摸屏 .....                                 | 232        |
| 11.3 常用显示器 .....                                 | 233        |
| 11.3.1 LED 数码管和 LED 点阵 .....                     | 233        |
| 11.3.2 液晶 .....                                  | 234        |
| 11.3.3 12864 液晶模块的应用 .....                       | 234        |
| 11.4 PS/2 键盘与液晶显示实例 .....                        | 237        |
| 11.4.1 程序设计 .....                                | 238        |
| 11.4.2 LCD 显示程序 .....                            | 240        |
| 11.4.3 PS/2 解码程序 .....                           | 249        |
| 11.4.4 main 主程序 .....                            | 250        |
| <b>第 12 章 单片机设备驱动新技术 .....</b>                   | <b>254</b> |
| 12.1 I/O 输出驱动 .....                              | 254        |
| 12.1.1 机械继电器输出 .....                             | 254        |
| 12.1.2 固态继电器 .....                               | 254        |
| 12.1.3 晶闸管输出 .....                               | 256        |
| 12.1.4 集成功率开关输出 .....                            | 257        |
| 12.2 步进电机的驱动 .....                               | 257        |
| 12.2.1 步进电机的分类及原理 .....                          | 257        |
| 12.2.2 步进电机控制实例 .....                            | 257        |
| 12.3 外部存储设备的驱动 .....                             | 258        |
| 12.3.1 串行 Flash 简介 .....                         | 258        |
| 12.3.2 串行 Flash 的应用 .....                        | 260        |
| 12.4 设计实例——非接触 IC 卡读/写器设计 .....                  | 263        |
| 12.4.1 硬件设计 .....                                | 263        |
| 12.4.2 软件设计 .....                                | 264        |
| 12.5 设计实例——地税局自动盖章系统设计 .....                     | 265        |
| 12.5.1 系统功能说明 .....                              | 265        |
| 12.5.2 应用系统设计 .....                              | 265        |
| <b>第 13 章 单片机串行总线技术 .....</b>                    | <b>266</b> |
| 13.1 I <sup>2</sup> C 总线接口 .....                 | 266        |
| 13.1.1 I <sup>2</sup> C 总线的协议 .....              | 266        |
| 13.1.2 I <sup>2</sup> C 总线的实例——AT24CXX 的读写 ..... | 267        |
| 13.2 RS-232 总线 .....                             | 267        |
| 13.2.1 232 通信总线协议 .....                          | 267        |
| 13.2.2 MAX232 芯片及应用电路 .....                      | 269        |
| 13.3 RS-422、RS-485 总线 .....                      | 271        |
| 13.3.1 RS-422、RS-485 总线协议 .....                  | 271        |
| 13.3.2 常用 422、485 总线芯片 .....                     | 273        |
| 13.4 CAN 总线 .....                                | 274        |
| 13.4.1 CAN 通信总线协议 .....                          | 275        |
| 13.4.2 常用 CAN 总线芯片 .....                         | 279        |
| 13.5 USB 总线 .....                                | 279        |

|               |                          |            |
|---------------|--------------------------|------------|
| 13.5.1        | USB 通信总线协议 .....         | 280        |
| 13.5.2        | USB 标准设备请求 .....         | 280        |
| 13.5.3        | 常用 USB 通信总线芯片 .....      | 281        |
| <b>第 14 章</b> | <b>单片机系统硬件设计技术 .....</b> | <b>282</b> |
| 14.1          | 单片机应用系统的结构 .....         | 282        |
| 14.2          | 系统硬、软件的设计方法 .....        | 282        |
| 14.3          | 单元电路的设计 .....            | 283        |
| 14.4          | 单元电路的级联 .....            | 283        |
| 14.5          | 录音系统设计实例 .....           | 284        |
| <b>第 15 章</b> | <b>应用软件设计 .....</b>      | <b>286</b> |
| 15.1          | 应用软件设计的原则 .....          | 286        |
| 15.2          | 模块化设计技术 .....            | 286        |
| 15.3          | 监控程序 .....               | 287        |
| 15.3.1        | 监控主程序 .....              | 287        |
| 15.3.2        | 初始化管理和任务管理 .....         | 288        |
| 15.3.3        | 系统的自检 .....              | 289        |
| <b>第 16 章</b> | <b>嵌入式操作系统 .....</b>     | <b>291</b> |
| 16.1          | RTOS 操作系统简介 .....        | 291        |
| 16.2          | RTOS 操作系统的工作原理 .....     | 291        |
| 16.3          | RTX51 函数 .....           | 292        |
| 16.4          | RTOS 操作系统的应用 .....       | 294        |
| <b>第 17 章</b> | <b>电源和抗干扰技术 .....</b>    | <b>296</b> |
| 17.1          | 电源设计 .....               | 296        |
| 17.1.1        | 开关稳压电源 .....             | 296        |
| 17.1.2        | 线性稳压电源 .....             | 296        |
| 17.2          | 抗干扰技术 .....              | 297        |
| 17.2.1        | 干扰源的分类 .....             | 297        |
| 17.2.2        | 硬件抗干扰技术 .....            | 298        |
| 17.2.3        | 软件抗干扰技术 .....            | 299        |
| 17.2.4        | 软硬件结合抗干扰技术 .....         | 300        |
| 17.3          | 系统恢复技术 .....             | 301        |
| 17.3.1        | 软件复位 .....               | 301        |
| 17.3.2        | 信息恢复 .....               | 301        |
| <b>附录</b>     | <b>配套教学资源说明 .....</b>    | <b>302</b> |
| <b>参考文献</b>   | <b>.....</b>             | <b>304</b> |

---

# 第 1 篇 基础篇

---

## 绪 论

### 1. 单片机概述

单片机是单片微型计算机 (Single Chip Microcomputer) 的简称,它是微型计算机的一种。它把计算机的所有基本功能部件 (如控制器、运算器、RAM、ROM、输入输出接口等) 集成在一个芯片上,构成一个微型的计算机。其优点是:成本和体积一般只有普通微机的百分之一,成本低、体积小;所有的部件集成在一个芯片上,抗干扰能力强、可靠性高;直接面向应用设计系统,扩展容易等。缺点是:计算能力较弱,RAM 和 ROM 一般都很小,应用系统自行开发,标准性不足等。

#### (1) 单片机的发展历程

单片机的产生和发展是和微处理器的产生和发展是同步的,可分为 4 个阶段:4 位、8 位、16 位和 32 位单片机,划分是根据单片机 CPU 的字长决定的。

第一阶段:4 位机。1971 年 Intel 公司年推出了 Intel 4044 单片机,标志着单片机的出现。目前,由于性能限制,4 位机主要使用在一些功能比较单一的应用中,如家用电器的控制。

第二阶段:8 位机。8 位机技术成熟、集成度高和价格合理,是目前应用最为广泛的单片机。最早的 8 位机是 Intel 公司 1976 年推出的 MCS-48 系列,内集成有 8 位的 CPU、8 位定时器/计数器、I/O 口等。此后,MOTOROLA 推出了 MC6801 系列、Zilog 公司推出了 Z8 系列等都在业内造成了较大影响。之后,Intel 推出了 MCS-51 系列,并公布了 MCS-51 内核,且同意其他公司在其基础上改造,引发了多个厂商推出自己基于 51 核的单片机系列,这些单片机系列在原有的 51 核基础上,集成了片内 A/D、D/A、程控放大器、滤波器、多路开关等,极大地丰富了 51 系列单片机的种类和功能。如 Cygnal 的 C8051F 系列,其中集成了看门狗、I<sup>2</sup>C 总线、12 位 A/D、10 位 D/A 等,对于一般的系统来说,基本上不用再进行外围扩展,并且其价格也比这些外围器件的价格总和要低得多,大大降低了开发难度和成本。这确立了 51 系列单片机成为 8 位机应用的主流地位。所以学习单片机应该以 8 位机,特别是 51 系列单片机为基础。

第三阶段:16 位机。16 位机是在 8 位机的基础之上于 1983 年推出的。其运算速度比 8 位机要高得多,有更大的寻址空间。可以应用于较为复杂的控制采集环境中。比较常见的 16 位机有:Intel 的 MCS-96/98 系列、MOTOROLA 的 M68HC16 系列等。但由于其功能没有 32 位强,价格和成熟度又比不上 8 位机,目前应用不多,对应机型也较少。

第四阶段:32 位机。32 位单片机是近几年出现的新型单片机,是为了满足较复杂的应用需求而设计的。具有 32 位的 CPU,接近于普通微机的计算速度;可以使用操作系统。极好的嵌入性使其成为嵌入式系统开发的理想硬件平台。此类单片机多出现于具有多媒体手段和具有极其复杂需要进行大数据量运算的控制采集系统中。最有名的 32 位单片机内核是 ARM 公司推出的 ARM 系列内核,包括了 ARM7、ARM9 等几个系列;其他公司,包括 Intel 公司都相继推出了基于 ARM 内核的 32 位单片机,如 Intel 的 StrongARM 等。

纵观近 40 年来单片机发展可以看出,单片机技术的发展以微处理器(MPU)技术及超大规模集成电路技术的发展为先导,以广泛的应用为拉动,表现出较微处理器更具个性的发展趋势。这种发展趋势发展特点表现如下。

① 可靠性和稳定性不断提高 一方面,单片机将越来越多的外围器件集成到单片机内部,极大地提高了单片机开发产品的可靠性和稳定性,有的产品甚至可以稳定可靠地工作 10 年、20 年。另一方面,在单片机内部电路中采取采用大量新技术来提高单片机系统的抗电磁干扰能力,如抗 EMI 电路、“看门狗”电路, MOTOROLA 还推出了低噪声的 LN 系列单片机,这些措施使产品能适应恶劣的工作环境,满足电磁兼容性方面更高标准的要求。

② 集成度不断提高 高集成度意味着开发难度、开发成本的降低。近几年来各个单片机生产厂家都推出了许多集成各种外围器件的增强型单片机,如 Cygnal 的 C8051F 系列,其中集成了看门狗、I<sup>2</sup>C 总线、12 位 A/D、10 位 D/A 等,对于一般的系统来说,基本上不用再进行外围扩展,并且其价格也比这些外围器件的价格总和要低得多,大大降低了开发难度和成本。

③ 速度的不断提高 MPU 速度的提高是以时钟频率为标志的,而单片机则是以运算速度或总线速度为标志。为了提高单片机抗干扰能力,降低噪声,单片机不能大幅度提高外部时钟。为了提高运算速度,单片机兼容厂商一般采用改善单片机的内部时序,或使用锁相环技术或内部倍频技术,在不提高外部时钟频率的条件下,大幅度提高运算速度。如 68HC08 仅使用 32K 的外部时钟,就可以使内部时钟可达 16MHz 以上。

④ 低电压与低功耗技术的发展 自 80 年代中期,CMOS 工艺代替了 NMOS 工艺,单片机功耗得以大幅度下降。之后,随着超大规模集成电路技术的发展,3 $\mu$ m 工艺发展到 1.5、1.2、0.8、0.5、0.35( $\mu$ m)工艺,进而实现了 0.2 $\mu$ m 工艺,这都使单片机功耗不断下降。现在,多数单片机都有 Wait、Stop 等省电运行模式,电源下限已由 2.7V 降至 2.2V、1.8V,甚至 0.9V。这些都大幅度地降低了单片机功耗。

⑤ 多系列的不断发展 MPU 的发展是不同系列的更新换代,如 386、486、586,每个新的系列发展起来,旧的系列就被淘汰出局。和 MPU 的发展不同,单片机的发展是多系列的不断并行发展。例如 68HC05、8051 这些面世已经有 15 年的单片机还在被大量使用,产量还在上升。此外,以这些 CPU 为核心,集成以更多 I/O 功能模块的改进芯片层出不穷。这些都给单片机用户带来了更多的选择余地。

## (2) 单片机的选择

由于多系列的并行发展,单片机的选择范围很广,主要有 Intel、ATMEL、PHILIPS、Winbond、CYPRESS、MOTOROLA、Microchip、Scenix、NEC、东芝、富士通、Epson、Zilog、三星等。

① Intel 公司 Intel 公司是 51 系列单片机的“开山鼻祖”,除了最早推出的 8031 单片机以外,Intel 公司还推出了 8051、8751 等型号的单片机。

其中,8751 单片机有 4~32K 的 ROM、256 字节的 RAM,具有多种封装结构,由于 Intel 公司公布了 MCS-51 内核,使其他公司也有许多相对应型号的单片机。

② ATMEL 公司 ATMEL 公司是世界上最大的 51 系列单片机生产厂商之一,其推出的 89 系列 Flash 单片机应用非常广泛,如最常使用的单片机之一 AT89C51。其最高工作频率是 24MHz;4K FlashROM,具有 3 级程序保护;128 字节 RAM;32 个 I/O 口;2 个 16 位计数器/定时器。AT89C51 停产后,ATMEL 公司推出其替代型号 AT89S51,AT89S51 在引脚和内部资源上面和 AT89C51 完全一样,与 AT89C51 不同的是,AT89S51 中加入了在线可编程(ISP)功能,并且通过 ATMEL 公司的 ISP 下载软件就可以对单片机中的 FlashROM 进行编程。AT89S51 将在第 1 章中详细介绍。此外,该公司还推出了许多基于各种用途,包含各种接口的系列单片机,如用于 MP3 开发的 89C51SND1 系列等。表 0-1 为 ATMEL 公司的 8 位系列单片机产品。

表 0-1 AT89C51 系列单片机

| Devices    | Flash<br>/Kbytes | RAM<br>/Bytes | $F_{max}$<br>/MHz | UART | 16-bit<br>Timers | WDT | SPI | A/D |
|------------|------------------|---------------|-------------------|------|------------------|-----|-----|-----|
| AT89C51    | 4                | 128           | 24                | 1    | 2                | —   | —   |     |
| AT89C52    | 8                | 256           | 24                | 1    | 3                | —   | —   |     |
| AT89S51    | 4                | 128           | 33                | 1    | 2                | Yes | —   |     |
| AT89S52    | 8                | 256           | 33                | 1    | 3                | Yes | —   |     |
| AT89S53    | 12               | 256           | 33                | 1    | 3                | Yes | —   |     |
| AT89LS51   | 4                | 128           | 16                | 1    | 2                | —   | —   |     |
| AT89LS52   | 8                | 256           | 16                | 1    | 3                | —   | —   |     |
| AT89LS53   | 12               | 256           | 12                | 1    | 3                | —   | —   |     |
| AT89C51ED2 | 64               | 2048          | 60                | 1    | 3                | Yes | Yes |     |
| AT89C51RD2 | 64               | 2048          | 60                | 1    | 3                | Yes | Yes |     |
| AT89LV51   | 4                | 128           | 16                | 1    | 2                | —   | —   |     |
| AT89LV52   | 8                | 256           | 16                | 1    | 3                | —   | —   |     |
| AT89LV55   | 20               | 256           | 12                | 1    | 3                | —   | —   |     |
| AT87F51    | 4OTP             | 128           | 33                | 1    | 2                | Yes | —   |     |
| AT87F52    | 8OTP             | 256           | 33                | 1    | 3                | Yes | —   |     |
| AT89S8252  | 8                | 256           | 24                | 1    | 3                | —   | Yes |     |
| AT89S8253  | 12               | 256           | 24                | 1    | 3                | Yes | Yes |     |
| AT89C1051  | 1                | 64            | 24                | 1    | 2                | —   | —   |     |
| AT89C2051  | 2                | 128           | 25                | 1    | 2                | —   | —   |     |
| AT89C4051  | 4                | 128           | 25                | 1    | 2                | —   | —   |     |
| AT89S4051  | 4                | 128           | 26                | 1    | 2                | —   | —   |     |
| AT80C5112  | 8ROM             | 256           | 60                | 1    | 2                | Yes | —   |     |
| AT83C5103  | 12 掩模            | 256           | 16                | 1    | 2                | —   | Yes |     |
| AT83C5111  | 4 掩模             | 256           | 66                | 1    | 2                | Yes | Yes |     |
| AT83C5112  | 8 掩模             | 256           | 66                | 1    | 2                | Yes | Yes |     |
| AT83C51RB2 | 16 掩模            | 256           | 60                | 1    | 3                | Yes | —   |     |
| AT83C51RC2 | 32 掩模            | 256           | 60                | 1    | 3                | Yes | —   |     |
| AT87F55WD  |                  | 256           | 33                | 1    | 3                | Yes | —   |     |
| T89C51AC2  | 32               | 256           | 40                | 1    | 3                | Yes | —   | 8   |
| T89C51IC2  | 32               | 256           | 40                | 1    | 3                | Yes | Yes |     |
| T89C51RD2  | 64               | 256           | 40                | 1    | 3                | Yes | —   |     |
| TS80251G2D |                  | 1024          | 24                | 1    | 3                | Yes | Yes |     |
| TS80C31X2  |                  | 128           | 60                | 1    | 2                | —   | —   |     |
| TS80C32X2  |                  | 256           | 60                | 1    | 3                | —   | —   |     |
| TS80C51U2  |                  | 256           | 60                | 2    | 3                | Yes | —   |     |
| TS80C52X2  | 8 掩模             | 256           | 60                | 1    | 3                | —   | —   |     |
| TS80C54X2  | 16 掩模            | 256           | 60                | 1    | 3                | Yes | —   |     |
| TS80C58X2  | 32 掩模            | 256           | 60                | 1    | 3                | Yes | —   |     |
| TS83C25G2D | 32 掩模            | 1024          | 24                | 1    | 3                | Yes | Yes |     |
| TS83C51RB2 | 16 掩模            | 256           | 60                | 1    | 3                | Yes | —   |     |
| TS83C51RC2 | 32 掩模            | 256           | 60                | 1    | 3                | Yes | —   |     |
| TS83C51RD2 | 64 掩模            | 256           | 60                | 1    | 3                | Yes | —   |     |
| AT87C5111  | 4OTP             | 256           | 66                | 1    | 2                | Yes | Yes | 8   |
| AT87C5112  | 8OTP             | 256           | 60                | 1    | 2                | Yes | Yes | 8   |

③ PHILIPS 公司 PHILIPS 公司推出了许多增强型的单片机产品。其产品以低功耗、高集成度和高稳定性而著称，其价格相对于其他公司的产品来说也较高。

PHILIPS 公司的 51 系列单片机产品主要有 80C51 系列和 51LPC 系列，这些单片机一般都和对应型号的 51 单片机兼容。表 0-2、表 0-3 为 PHILIPS 公司的 80C51 系列单片机产品。

表 0-2 PHILIPS 6 Clock 8 位 80C51+内核单片机

| 型 号           | 存储器   |        |         | ISP<br>/IAP | 定时/计数器 |     |     |    | I/O<br>数 | 串行<br>接口                     | 中断<br>(外部) | A/D<br>转换器     | 最大<br>频率<br>/MHz |
|---------------|-------|--------|---------|-------------|--------|-----|-----|----|----------|------------------------------|------------|----------------|------------------|
|               | OTP   | Flash  | RAM     |             | #      | PWM | PCA | WD |          |                              |            |                |                  |
| P87C5xX2      | 4~32K |        | 128~256 | —           | 3      | —   | —   | —  | 32       | UART                         | 6(2)       | —              | 33               |
| P87CL5xX2     | 8~16K |        | 256     |             |        |     |     |    |          | UART                         | 8          | —              | 33               |
| P89C5xX2      |       | 4~32K  | 128~256 | —           | 3      | —   | —   | —  | 32       | UART                         | 6(2)       | —              | 33               |
| P89LV51RD2    |       | 64K    | 512~1K  | —           | 4      | ✓   | ✓   | ✓  | 32       | UART SPI                     | 7(2)       | —              | 33               |
| P89V51RD2     |       | 64K    | 512~1K  | —           | 4      | ✓   | ✓   | ✓  | 32       | UART SPI                     | 7(2)       | —              | 40               |
| P89C60X2/61X2 |       | 64K    | 512~1K  | Y/—         | 3      | —   | —   | ✓  | 32       | UART                         | 6(2)       | —              | 33               |
| P89C51Rx2Hxx  |       | 16~64K | 512~1K  | Y/Y         | 4      | ✓   | ✓   | ✓  | 32       | UART                         | 7(2)       |                | 33               |
| P89C51Rx2xx   |       | 16~64K | 512~1K  | Y/Y         | 4      | ✓   | ✓   | ✓  | 32       | UART                         | 7(2)       |                | 33               |
| P87C51Rx2     | 8~64K |        | 512~1K  | —           | 4      | ✓   | ✓   | ✓  | 32       | UART                         | 7(2)       | —              | 33               |
| P89C66x       |       | 16~64K | 1~8K    | Y/Y         | 4      | ✓   | ✓   | ✓  | 32       | UART I <sup>2</sup> C        | 8(2)       |                | 33               |
| P89C669       |       | 96K    | 2K      | Y/Y         | 3      | ✓   | ✓   | ✓  | 32       | UART I <sup>2</sup> C        | 8(2)       |                | 24               |
| P8xC591       | 16K   |        | 512     | —           | 3      | ✓   | —   | ✓  | 32       | UART I <sup>2</sup> C<br>CAN | 15(2)      | 6-ch<br>10-bit | 16               |
| P87C552       | 8K    |        | 256     | —           | 3      | ✓   | —   | ✓  | 48       | UART I <sup>2</sup> C        | 15(2)      | 8-ch<br>10-bit | 16               |

表 0-3 PHILIPS 12 Clock 8 位 80C51+内核单片机

| 型 号       | 存储器    |        |         | ISP<br>/IAP | 定时/计数器 |     |     |    | I/O<br>数 | 串行<br>接口 | 中断<br>(外部) | A/D<br>转换器 | 最大<br>频率<br>/MHz |
|-----------|--------|--------|---------|-------------|--------|-----|-----|----|----------|----------|------------|------------|------------------|
|           | OTP    | Flash  | RAM     |             | #      | PWM | PCA | WD |          |          |            |            |                  |
| P87C5x    | 4~32K  |        | 128~256 | —           | 3      | —   | —   | —  | 32       | UART     | 6(2)       | —          | 33               |
| P89C5xUxx |        | 4~32K  | 128~1K  | —           | 3      | —   | —   | —  | 32       | UART     | 6(2)       | —          | 33               |
| P89C5xBx  |        | 4~32K  | 128~256 | —           | 3      | —   | —   | —  | 32       | UART     | 6(2)       | —          | 33               |
| OM4368BN  |        | 32K    | 128~256 | —           | 3      | —   | —   | —  | 32       | UART     | 6(2)       | —          | 33               |
| OM4358BA  |        | 32K    | 128~256 | —           | 3      | —   | —   | —  | 32       | UART     | 6(2)       | —          | 33               |
| P87C51Rx+ | 32~64K |        | 512~1K  | —           | 4      | ✓   | ✓   | ✓  | 32       | UART     | 7(2)       | —          | 33               |
| P89C51Rx+ |        | 32~64K | 512~1K  | —           | 4      | ✓   | ✓   | ✓  | 32       | UART     | 7(2)       | —          | 33               |

51LPC 系列和通用的 80C51 系列单片机相兼容，同时它还具有低功耗、小引脚、低价格的高速等特点。51LPC 系列的指令周期为 2~4 个时钟周期，速度为标准 80C51 器件的 3~6 倍，见表 0-4。此外，部分型号还集成了多种通信端口和系统监控功能，可以减少外围元件的数量和电路板面积，降低系统的成本。



表 0-4 PHILIPS LPC900 系列单片机

| 管脚 | 封装    | 型号          | 存储器  |                     |       |                    | LCD<br>驱动器 | 定时/计数器 |     |     | 串行<br>接口                        | I/O | 中断<br>(外部) | 比较<br>器 | A/D          | 频率<br>/MHz |
|----|-------|-------------|------|---------------------|-------|--------------------|------------|--------|-----|-----|---------------------------------|-----|------------|---------|--------------|------------|
|    |       |             | RAM  | E <sup>2</sup> PROM | Flash | PP/<br>ISP/<br>IAP |            | CCU    | RTC | WDT |                                 |     |            |         |              |            |
| 64 | LQFP  | P89LPC9401  | 256B | 8K                  |       | Y/Y                | 32×<br>4   | —      | ✓   | ✓   | UART<br>I <sup>2</sup> C SPI    | 26  | 13(3)      | 2       | —            | 0~<br>12   |
| 8  | SO    | P89LPC901   | 128B | 1K                  |       | ICP                | —          | —      | ✓   | ✓   | —                               | 6   | 6(1)       | 1       | —            | 0~<br>12   |
| 8  | DIP   | P89LPC902   | 128B | 1K                  |       | ICP                | —          | —      | ✓   | ✓   | —                               | 6   | 6(1)       | 2       | —            | 7.3728     |
| 8  | SO    | P89LPC903   | 128B | 1K                  |       | ICP                | —          | —      | ✓   | ✓   | UART                            | 6   | 9(1)       | 1       | —            | 7.3728     |
| 8  | SO    | P89LPC904   | 128B | 1K                  |       | ICP                | —          | —      | ✓   | ✓   | UART                            | 6   | 9(1)       | 2       | 2-ch         | 7.3728     |
| 8  | DIP   | P89LPC906   | 128B | 1K                  |       | ICP                | —          | —      | ✓   | ✓   | —                               | 6   | 6(1)       | 1       | —            | 0~<br>12   |
| 8  | SO    | P89LPC907   | 128B | 1K                  |       | ICP                | —          | —      | ✓   | ✓   | UART                            | 6   | 8(1)       | 1       | —            | 7.3728     |
| 8  | SO    | P89LPC908   | 128B | 1K                  |       | ICP                | —          | —      | ✓   | ✓   | UART                            | 6   | 9(1)       | 1       | —            | 7.3728     |
| 14 | TSSOP | P89LPC912   | 128B | 1K                  |       | Y/-                | —          | —      | ✓   | ✓   | SPI                             | 12  | 7(1)       | 2       | —            | 0~<br>12   |
| 14 | TSSOP | P89LPC913   | 128B | 1K                  |       | Y/-                | —          | —      | ✓   | ✓   | SPI                             | 12  | 10(1)      | 2       | —            | 0~<br>12   |
| 14 | TSSOP | P89LPC914   | 128B | 1K                  |       | Y/-                | —          | —      | ✓   | ✓   | SPI                             | 12  | 10(1)      | 2       | —            | 7.3728     |
| 14 | TSSOP | P89LPC915   | 256B | 2K                  |       | Y/-                | —          | —      | ✓   | ✓   | UART<br>I <sup>2</sup> C        | 12  | 13(3)      | 2       | 4-ch         | 0~<br>12   |
| 16 | TSSOP | P89LPC916   | 256B | 2K                  |       | Y/-                | —          | —      | ✓   | ✓   | UART<br>I <sup>2</sup> C        | 14  | 14(2)      | 2       | 4-ch         | 0~<br>12   |
| 16 | TSSOP | P89LPC917   | 256B | 2K                  |       | Y/-                | —          | —      | ✓   | ✓   | UART<br>I <sup>2</sup> C        | 14  | 13(3)      | 2       | 4-ch         | 0~<br>12   |
| 20 | DIP   | P89LPC920   | 256B | 2K                  |       | Y/Y                | —          | —      | ✓   | ✓   | UART<br>I <sup>2</sup> C        | 18  | 12(3)      | 2       | —            | 0~<br>12   |
| 20 | TSSOP | P89LPC921   | 256B | 4K                  |       | Y/Y                | —          | —      | ✓   | ✓   | UART<br>I <sup>2</sup> C        | 18  | 12(3)      | 2       | —            | 0~<br>12   |
| 20 | DIP   | P89LPC922   | 256B | 8K                  |       | Y/Y                | —          | —      | ✓   | ✓   | UART<br>I <sup>2</sup> C        | 18  | 12(3)      | 2       | —            | 0~<br>12   |
| 20 | TSSOP | P89LPC924   | 256B | 4K                  |       | Y/Y                | —          | —      | ✓   | ✓   | UART<br>I <sup>2</sup> C        | 18  | 12(3)      | 2       | 4-ch         | 0~<br>12   |
| 20 | DIP   | P89LPC925   | 256B | 8K                  |       | Y/Y                | —          | —      | ✓   | ✓   | UART<br>I <sup>2</sup> C        | 18  | 12(3)      | 2       | 4-ch         | 0~<br>12   |
| 28 | TSSOP | P89LPC930   | 256B | 4K                  |       | Y/Y                | —          | —      | ✓   | ✓   | UART<br>I <sup>2</sup> C SPI    | 26  | 13(3)      | 2       | —            | 0~<br>12   |
| 28 | TSSOP | P89LPC931   | 256B | 8K                  |       | Y/Y                | —          | —      | ✓   | ✓   | UART<br>I <sup>2</sup> C SPI    | 26  | 13(3)      | 2       | —            | 0~<br>12   |
| 28 | PLCC  | P89LPC932A1 | 768B | 512B                | 8K    | Y/<br>Y/<br>Y      | —          | —      | ✓   | ✓   | UART<br>I <sup>2</sup> C<br>SPI | 26  | 15(3)      | 2       | —            | 0~<br>12   |
| 28 | TSSOP | P89LPC933   | 256B | 4K                  |       | Y/Y                | —          | —      | ✓   | ✓   | UART<br>I <sup>2</sup> C SPI    | 26  | 15(3)      | 2       | 4-ch         | 0~<br>18   |
| 28 | TSSOP | P89LPC934   | 256B | 8K                  |       | Y/Y                | —          | —      | ✓   | ✓   | UART<br>I <sup>2</sup> C SPI    | 26  | 15(3)      | 2       | 4-ch         | 0~<br>18   |
| 28 | PLCC  | P89LPC935   | 768B | 512B                | 8K    | Y/<br>Y/<br>Y      | —          | ✓      | ✓   | ✓   | UART<br>I <sup>2</sup> C<br>SPI | 26  | 15(3)      | 2       | Dual<br>4-ch | 0~<br>18   |
|    | TSSOP |             |      |                     |       |                    |            |        |     |     |                                 |     |            |         | 8-bit        |            |