

MSP430 系列

超低功耗

16 位单片机原理与应用



胡大可 主编

北京航空航天大学出版社

<http://www.buaapress.cn.net>

MSP430 系列超低功耗 16 位单片机

原理与应用

胡大可 主编

北京航空航天大学出版社
<http://www.buaapress.cn.net>

内 容 简 介

TI公司的MSP430系列微控制器是一个近期推出的单片机品种。它在超低功耗和功能集成上都有一定的特色,尤其适合应用在自动信号采集系统、液晶显示智能化仪器、电池供电便携式装置、超长时间连续工作设备等领域。本书对这一系列产品的原理、结构及内部各功能模块作了详细的说明,并以方便工程师及程序员使用的方式提供软件和硬件资料。由于MSP430系列的各个不同型号基本上是这些功能模块的不同组合,因此,掌握本书的内容对于MSP430系列的原理理解和应用开发都有较大的帮助。本书的内容主要根据TI公司的《MSP430 Family Architecture Guide and Module Library》一书及其他相关技术资料编写。

本书供高等院校自动化、计算机、电子等专业的教学参考及工程技术人员的实用参考,亦可做为应用技术的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

MSP 430 系列超低功耗 16 位单片机原理与应用/胡大可主编.
—北京:北京航空航天大学出版社,2000.6
ISBN 7-81012-990-2

I. M... II. 胡... III. 单片微型计算机
IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 30865 号

MSP430 系列超低功耗 16 位单片机原理与应用

胡大可 主编

责任编辑 马广云

责任校对 陈 坤

北京航空航天大学出版社出版发行

北京学院路 37 号(邮编 100083) 发行部电话:(010)82317024 发行部传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.cn.net>

E-mail: pressell@public.bj.cninfo.net

北京宏文印刷厂印装 各地书店经销

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 17 字数: 432 千字

2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月第 1 次印刷 印数: 0~5000 册

ISBN 7-81012-990-2/TP·404 定价: 29.50 元

序 言

温州利尔达电子器材公司的发展,与电子元器件的应用和发展是息息相关的。从最初经营收音机等小家电使用的电容器、电阻、晶体管等器件开始,经历了 74 系列、C4000、C4500 等逻辑芯片时代。现在,公司的经营品种过渡到了以各种单片机为主体的几十个系列、一万多种型号元器件的经营模式。公司的经营结构也发生了很大变化,由一家器件贸易商发展成为一个以技术为主导,具有新产品研究、生产、客户技术支持等服务能力、且科、工、贸为一体的综合型企业。

当今,为满足各种适时控制系统、智能化仪表等领域的应用需要,世界各大单片机生产厂商开发出了一些各具特色的单片机,其中美国 TI(Texas Instruments,德州仪器)公司的 MSP430 系列单片机就是一种以超低功耗为主要特色的 16 位单片机。而温州利尔达电子器材公司,则是美国 TI 公司 MSP430 系列单片机的中国代理商。为使我国的工程设计人员能更快地利用 MSP430 系列单片机的特色设计出低功耗产品,温州利尔达电子器材公司组织编写了这本书。

在单片机技术应用开发的过程中,选择一个性能价格比合适的单片机型号是至关重要的。当应用的场合需要满足低功耗、高集成度、宽环境温度范围、高精度 A/D 转换等技术性能要求时, TI 公司的 MSP430 系列则是一个较为理想的选择。

MSP430 系列单片机具有超低功耗、16 位指令字、片上 A/D 转换器、串行通信接口、硬件乘法器、LCD 驱动电路及高抗干扰能力等技术特点,因此,特别适合应用在智能仪表、防盗系统、智能化家用电器、电池供电便携式设备等产品之中。

本书全面介绍了 MSP430 系列单片机的基本结构以及各功能模块的原理和应用,内容详尽,在开发过程中是不可缺少的。目前, MSP430 系列单片机在国内的应用正在逐步推广,相信本书对选用 MSP430 系列单片机开发产品的技术人员将会有较大的帮助。

为方便客户,我公司总部(温州)以及杭州分公司(杭州康尔达电子有限公司)、北京办事处均可办理 MSP430 系列单片机业务,并提供技术支持和服务。随着市场的发展,我公司将在国内其他大、中城市设立办事机构,以求为客户提供更便捷的服务。

本书的出版发行得到了北京航空航天大学出版社及马广云博士的大力支持,在此表示感谢。

温州利尔达电子器材公司将在提供器件、开发工具、技术支持,以及介绍关于 MSP430 系列技术资料等方面继续作出努力。

温州利尔达电子器材公司董事长

陈贤兴

2000 年 6 月

00700/04

TI 公司授权代理：(L) 利尔达电子

温州利尔达电子器材公司

地址：温州市鹿城路 50 号奥林匹克广场 A 座 201 室

电话：0577-82811111 8212222

传真：0577 8246080

E-mail: lierda@mail.wzptt.zj.cn

杭州康尔达电子有限公司

地址：杭州市教工路 2-318 号

电话：0571-88000000 8059493

传真：0571-8805970

E-mail: lierda@mail.hz.zj.cn

香港利尔达电子有限公司

地址：香港中环皇后大道 286 号祥大厦九栋 B 室

电话：00852-25950393

传真：00852-25588160

温州利尔达北京办事处：

地址：北京市海淀区知春路 132 号中发电子大厦 621 室

电话：010-82622345

传真：010-82622627

E-mail: lierda@public3.bta.net.cn

前 言

单片机技术,或者称为微控制器技术,已经在人类生活的方方面面都得到应用。它特别适合用在各种专用、小型、省电、可移动的设备之中。它多年来的快速发展使得它的家族越来越大、系列品种越来越多,而且技术上往往也各有特色。

TI公司的MSP430系列是一个特别强调超低功耗的单片机品种,很适合应用在各种功率消耗要求特别低的场合。它具有一定的技术特点。在这个系列中有多个型号,它们是由一些基本功能模块按不同的应用目标组合而成的。本书集中介绍所有这些基本功能模块的原理、控制方法及应用。书中内容适合MSP430系列的各个型号。

TI公司的MSP430系列又可分为几个分支,例如:11x、31x、32x、33x等,而且还在不断发展。从应用角度,又可根据程序存储器的类型分为ROM(C型)、OTP(P型)、EPROM(E型)、Flash Memory(F型)等,以适应开发各个阶段的需要。

阅读本书的读者应具备数字电路知识,最好有其他单片机品种的开发经历。

本书内容参考了TI公司的《MSP430 Family Architecture Guide and Module Library》一书及其他一些有关技术资料。在此感谢TI公司对引述《MSP430 Family Architecture Guide and Module Library》一书的授权同意。读者对该书有关译文内容的引述如有疑问,请参考TI公司的原著。

在成书过程中,得到研究生李燕飞、潘卫江、吴一聪、叶隼等人的协助,同时也得到TI公司MSP430系列产品代理商——利尔达电子器材公司的大力支持。

由于作者的学识水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者

2000年4月

本书表述约定

表示信号和处理机状态的符号的简要说明如下：

- ADC A/D 转换器。
- CPUOff mode 保持 RAM 及 I/O 信号不变的低功耗模式。
用辅助时钟(32 768 Hz 晶振)工作的模块处于活动状态。
- DCO 数字控制振荡器。
- LCD 液晶显示器。
- FF 触发器。
- MAB 存储器地址总线。位于各内部模块之间。可以是在 4 ~ 16 位范围内的任意宽度。它与 MS 信号一起定义了物理地址。
- MDB 存储器数据总线。位于各内部模块之间。可以是 8 位或 16 位宽度。
- MS 模块选择。为了解码地址空间。它与 MAB 一起定义了物理地址。
- MSFR 模块特殊寄存器。是特殊寄存器的预解码地址空间(00h ~ 0Fh)。
- OscOff mode 最低功耗模式。保持 RAM 及 I/O 信号不变。晶振停止。
- OTP 单次可编程。
- POR 上电复位。
- PUC 上电清除,“1”设置处理机启动条件。
- SAR 逐位逼近寄存器。
- SCI 处理同步及异步协议的串行通信接口。
- SCG 系统时钟发生器。
- SFR 特殊功能寄存器。
- SPI 串行外围接口(广泛应用的同步串行通信协议)。
- TBD 待定义。
- TOS 堆栈顶。
- UART 通用异步收发(最广泛应用的串行通信协议)。
- USART 通用同步异步收发。
- WD、WDT 看门狗、看门狗定时器。

寄存器位类型约定：

- rw 读/写。
- r 只读。
- r0 读出为“0”。
- w 只写。
- (w) 无寄存功能,写“1”将产生一个脉冲。读出总是为“0”。
- - 0、- 1 发生 PUC 后的状态。
- - (0)、- (1) 发生 POR 后的状态。
- b0 由硬件复位。

运算符：

- @ 寄存器间接寻址。

- & 绝对寻址。
- → 数据传递方向。
- + 加。
- - 减。
- × 乘。
- .AND. 逻辑与。
- .OR. 逻辑或。
- .XOR. 逻辑异或。
- .NOT. 逻辑非。

寄存器符号：

- R0 或 PC 寄存器 0 或程序计数器。
- R1 或 SP 寄存器 1 或堆栈指针。
- R2 或 SR/CG1 寄存器 2 或状态寄存器/常数发生器 1。
- R3 或 CG2 寄存器 3 或常数发生器 2。
- R4 ~ R15 通用工作寄存器。

状态寄存器内容：

- C 进位或借位标志位。
- Z 零标志位。
- N 负数标志位。
- CPUOff CPU 关闭位。
- OscOff 系统振荡器关闭位。
- GIE 总控中断允许位。
- SCG0 系统时钟发生器控制位 0。
- SCG1 系统时钟发生器控制位 1。
- V 溢出标志位。

其他：

- h 16 进制数。
- b 2 进制数。
- # 立即数。
- E 指数。
- & 绝对寻址模式指示。

汇编程序伪指令：

- .equ 等价命令。
- .sect 区域指示。
- .word 字数据。
- .byte 字节数据。
- ; 注解指示。

目 录

本书表述约定

第 1 章 MSP430 系列

1.1 特性与功能	1
1.2 系统关键特性	1
1.3 MSP430 系列的各种型号	2

第 2 章 结构概述

2.1 CPU	4
2.2 代码存储器	5
2.3 数据存储器	5
2.4 运行控制	5
2.5 外围模块	5
2.6 振荡器、倍频器和时钟发生器	6

第 3 章 系统复位、中断和工作模式

3.1 系统复位和初始化	7
3.2 中断系统结构	8
3.3 中断处理	10
3.3.1 SFR 中的中断控制位	12
3.3.2 外部中断	14
3.4 工作模式	16
3.5 低功耗模式	18
3.5.1 低功耗模式 0 和模式 1	19
3.5.2 低功耗模式 2 和模式 3	19
3.5.3 低功耗模式 4	20
3.6 低功耗应用要点	20

第 4 章 存储器组织

4.1 存储器中的数据	22
4.2 片内 ROM 组织	22
4.2.1 ROM 表的处理	23
4.2.2 计算分支跳转和子程序调用	23
4.3 RAM 与外围模块组织	23
4.3.1 RAM	24
4.3.2 外围模块——地址定位	25
4.3.3 外围模块——SFR	27

第 5 章 16 位 CPU

5.1 CPU 寄存器	29
5.1.1 程序计数器 PC	29
5.1.2 系统堆栈指针 SP	29
5.1.3 状态寄存器 SR	31
5.1.4 常数发生寄存器 CGI 和 CG2	32
5.2 寻址模式	33
5.2.1 寄存器模式	34
5.2.2 变址模式	34
5.2.3 符号模式	35
5.2.4 绝对模式	36
5.2.5 间接模式	37
5.2.6 间接增量模式	38
5.2.7 立即模式	39
5.2.8 指令的时钟周期与长度	40
5.3 指令集概述	42
5.3.1 双操作数指令	42
5.3.2 单操作数指令	43
5.3.3 条件跳转	43
5.3.4 模拟指令的简短格式	44
5.3.5 其他指令	45
5.4 指令分布	45
第 6 章 硬件乘法器	
6.1 硬件乘法器的操作	48
6.2 硬件乘法器的寄存器	51
6.3 硬件乘法器的 SFR 位	52
6.4 硬件乘法器的软件限制	52
6.4.1 硬件乘法器的软件限制——寻址模式	52
6.4.2 硬件乘法器的软件限制——中断程序	52
第 7 章 振荡器与系统时钟发生器	
7.1 晶体振荡器	54
7.2 处理机时钟发生器	55
7.3 系统时钟工作模式	56
7.4 系统时钟控制寄存器	58
7.4.1 模块寄存器	58
7.4.2 与系统时钟发生器相关的 SFR 位	59
7.5 DCO 典型特性	60
第 8 章 数字 I/O 配置	
8.1 通用端口 P0	61
8.1.1 P0 的控制寄存器	61

8.1.2 P0 的原理图	63
8.1.3 P0 的中断控制功能	66
8.2 通用端口 P1、P2	66
8.2.1 P1、P2 的控制寄存器	67
8.2.2 P1、P2 的原理图	69
8.2.3 P1、P2 的中断控制功能	70
8.3 通用端口 P3、P4	71
8.3.1 P3、P4 的控制寄存器	71
8.3.2 P3、P4 的原理图	72
8.4 LCD 端口	73
8.5 LCD 端口——定时器/端口比较器	74
第 9 章 通用定时器/端口模块	
9.1 定时器/端口模块操作	76
9.1.1 定时器/端口计数器 TPCNT1——8 位操作	76
9.1.2 定时器/端口计数器 TPCNT2——8 位操作	76
9.1.3 定时器/端口计数器——16 位操作	76
9.2 定时器/端口寄存器	77
9.3 定时器/端口 SFR 位	80
9.4 定时器/端口在 A/D 中的应用	81
9.4.1 R/D 转换原理	81
9.4.2 分辨率高于 8 位的转换	83
第 10 章 定时器	
10.1 Basic Timer1	84
10.1.1 Basic Timer1 寄存器	84
10.1.2 SFR 位	86
10.1.3 Basic Timer1 的操作	86
10.1.4 Basic Timer1 的操作——LCD 时钟信号 f_{LCD}	87
10.2 8 位间隔定时器/计数器	88
10.2.1 8 位定时器/计数器的操作	88
10.2.2 8 位定时器/计数器的寄存器	89
10.2.3 与 8 位定时器/计数器有关的 SFR 位	91
10.2.4 8 位定时器/计数器在 UART 中的应用	91
10.3 看门狗定时器	101
10.3.1 看门狗定时器寄存器	102
10.3.2 看门狗定时器的中断控制功能	103
10.3.3 看门狗定时器操作	104
10.4 8 位脉宽调制定时器 PWM	106
10.4.1 操作	106
10.4.2 PWM 寄存器	107

第 11 章 Timer_A

11.1 Timer_A 的操作	110
11.1.1 定时器操作	110
11.1.2 捕获模式	116
11.1.3 比较模式	118
11.1.4 输出单元	118
11.2 Timer_A 的寄存器	120
11.2.1 Timer_A 控制寄存器 TACTL	120
11.2.2 捕获/比较控制寄存器 CCTL	121
11.2.3 Timer_A 中断向量寄存器	123
11.3 Timer_A 的应用	127
11.3.1 Timer_A 增计数模式应用	127
11.3.2 Timer_A 连续模式应用	128
11.3.3 Timer_A 增/减计数模式应用	130
11.3.4 Timer_A 软件捕获应用	131
11.3.5 Timer_A 处理异步串行通信协议	132
11.4 Timer_A 的特殊情况	133
11.4.1 CCR0 用做周期寄存器	133
11.4.2 定时器寄存器的启/停	134
11.4.3 输出单元 Unit0	135

第 12 章 USART 外围接口——UART 模式

12.1 异步操作	137
12.1.1 异步帧格式	137
12.1.2 异步通信的波特率发生器	138
12.1.3 异步通信格式	140
12.1.4 线路空闲多处理机模式	140
12.1.5 地址位格式	142
12.2 中断与控制功能	143
12.2.1 USART 接收允许	143
12.2.2 USART 发送允许	144
12.2.3 USART 接收中断操作	144
12.2.4 USART 发送中断操作	145
12.3 控制与状态寄存器	146
12.3.1 USART 控制寄存器 UCTL	146
12.3.2 发送控制寄存器 UTCTL	148
12.3.3 接收控制寄存器 URCTL	148
12.3.4 波特率选择和调制控制寄存器	150
12.3.5 USART 接收数据缓存 URXBUF	151
12.3.6 USART 发送数据缓存 UTXBUF	151

12.4	UART 模式——低功耗模式应用特性	151
12.4.1	由 UART 帧启动接收操作	151
12.4.2	时钟频率的充分利用与 UART 模式的波特率	153
12.4.3	节约 MSP430 资源的多处理机模式	154
12.5	波特率的计算	154
第 13 章 USART 外围接口——SPI 模式		
13.1	USART 的同步操作	158
13.1.1	SPI 模式中的主模式——MM=1、SYNC=1	160
13.1.2	SPI 模式中的从模式——MM=0、SYNC=1	161
13.2	中断与控制功能	162
13.2.1	USART 接收允许	162
13.2.2	USART 发送允许	163
13.2.3	USART 接收中断操作	164
13.2.4	USART 发送中断操作	165
13.3	控制与状态寄存器	166
13.3.1	USART 控制寄存器	166
13.3.2	发送控制寄存器 UTCTL	167
13.3.3	接收控制寄存器 URCTL	168
13.3.4	波特率选择和调制控制寄存器	169
13.3.5	USART 接收数据缓存 URXBUF	169
13.3.6	USART 发送数据缓存 UTXBUF	169
第 14 章 液晶显示驱动		
14.1	LCD 驱动基本原理	171
14.2	LCD 控制器/驱动器	174
14.2.1	LCD 控制器/驱动器功能	175
14.2.2	LCD 控制与模式寄存器	177
14.2.3	LCD 显示内存	179
14.2.4	LCD 操作软件例程	182
14.3	LCD 端口功能	186
14.4	LCD 与端口模式混合应用实例	187
第 15 章 A/D 转换器		
15.1	概述	189
15.2	A/D 转换操作	190
15.2.1	A/D 转换	190
15.2.2	A/D 中断	193
15.2.3	A/D 量程	193
15.2.4	A/D 电流源	194
15.2.5	A/D 输入端与多路切换	194
15.2.6	A/D 接地与降噪	196

15.2.7 A/D 输入与输出引脚	196
15.3 A/D 控制寄存器	197
第 16 章 其他模块	
16.1 晶体振荡器	201
16.2 上电电路	201
16.3 晶振缓冲输出	202
附录 A 外围模块地址分配	
附录 B 指令集描述	
B1 指令汇总	211
B2 指令格式	212
B3 不增加 ROM 开销的指令模拟	214
B4 指令说明	216
B5 用几条指令模拟的宏指令	244
附录 C EPROM 编程	
C1 EPROM 操作	246
C2 快速编程算法	247
C3 通过串行数据链路应用“JTAG”特性的 EPROM 模块编程	248
C4 通过微控制器软件实现对 EPROM 模块编程	248
附录 D MSP430 系列单片机参数表	
附录 E MSP430 系列单片机产品编码	
附录 F MSP430 系列单片机封装形式	

第1章 MSP430 系列

本章讨论 MSP430 系列单片机(或称微控制器)的特性及其控制模拟信号处理的特殊能力。系列的全部成员均为软件兼容。软件通过公共软件库、设计技术及开发工具,可以方便地在系列中的各型号间移植。

MSP 430 系列单片机的 CPU 设计成适合各种应用的 16 位结构。它采用“冯 纽曼结构”,因此,RAM、ROM 和全部外围模块都位于同一个地址空间内。

1.1 特性与功能

- 多达 64 KB 寻址空间,包含 ROM、RAM、闪存 RAM 和外围模块。将来计划扩大至 1 MB。
- 通过堆栈处理,中断和子程序调用层次无限制。
- 仅 3 种指令格式,全部为正交结构。
- 尽可能做到 1 字/指令。
- 源操作数有 7 种寻址模式。
- 目的操作数有 4 种寻址模式。
- 外部中断引脚: I/O 引脚具有中断能力。
- 中断优先级: 对同时发生的中断按优先级别处理。
- 嵌套中断结构: 中断程序可以被更高优先级的中断请求打断。
- 外围模块地址为存储器分配: 全部寄存器不占用 RAM 空间,均在模块内。
- 片上 USART: 发送与接收有各自的中断。
- 定时器中断可用于事件计数、时序发生、PWM 等。
- 看门狗功能。
- A/D 转换器(10 位或更高精度) 有 8 个输入端,可作为恒流源。
- 具有 EPROM 型及 OTP 型。
- 具有 LCD 驱动电路。
- 用 FLL 和 32 768 Hz 晶振获得稳定的处理机时钟频率。
- 正交指令组简化了程序的开发: 所有指令可以用所有寻址模式。
- 已开发了 C-编译器。
- 模块设计思想: 所有模块采用存储器分配。

1.2 系统关键特性

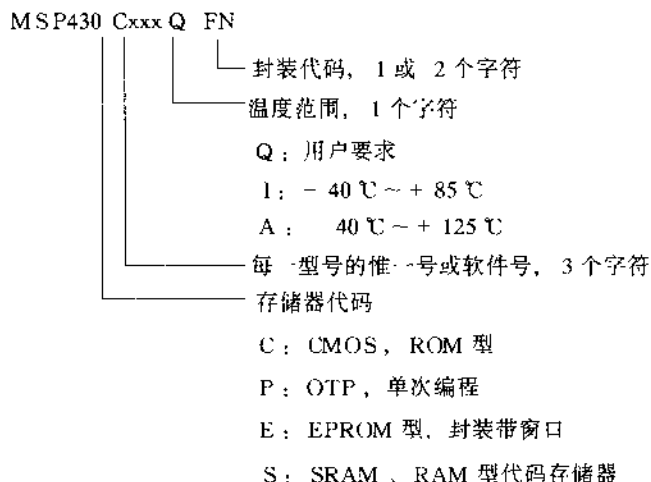
- 超低电流消耗: CPUOff 和 OscOff 模式。
- 可在电压降至 2.5 V 情况下工作。

- 系统内置模块: LCD 驱动、A/D 转换、I/O 端口、UART、看门狗、定时器、EPROM 等。
- 只有微计算机模式, 无微处理机模式。
- 使用方便: 强大而方便的指令组可加速软件的开发。
- 软件可在 RAM 中运行。程序可经 UART 或测试引脚装入 RAM, 并能在实时条件下运行。可降低试验和调试的开销。
- 在 64 KB 公共空间中, 有可能实现任意的 ROM/RAM 混合分配。
- 具有高级语言编程能力。
 - 大寄存器组(12 个通用寄存器);
 - 面向堆栈;
 - 大 ROM 和 RAM 空间;
 - 正交指令组;
 - 利用寻址模式实现查表处理。
- 有实现在 16 进制与 10 进制之间转换的专门指令 DADDD。
- ROM 读取、RAM 存取、数据处理、I/O 及其他外围操作都使用公共指令, 无特殊指令。
- CPU 的能力远超出智能化传感系统的要求。它的实时处理能力及各种外围模块使其可应用在其他低功耗领域, 例如有线远程通信的 DTM 收发器。

1.3 MSP430 系列的各种型号

对 MSP430 系列的各型芯片的命名和特性归纳如下:

- 命名:



- 开发工具包括软件仿真器 DT430、汇编器和连接器 ASM430/LNK430、C-编译器 CS430/CW430, 以及硬件在线仿真器 ICE430。所有开发工具都工作在 PC 环境下, 并且符合 Windows 的 SAA 标准。

对开发所用 PC 的最低要求如下:

- IBM 兼容;
- DOS 5.0 或更高版本;
- Windows 3.1、3.11 或 Windows 95;
- 486 或更高性能处理机;
- 8 MB 存储器;
- 3.5 in 软盘驱动器;
- 硬盘有 5 MB 可用空间。

MSP430 系列单片机的特性汇总如表 1.1 所列。

表 1.1 MSP430 系列特性汇总

	MSP430x310	MSP430x320	MSP430x330
最大内部时钟频率/MHz	1.1 @3 V 3.3 @5 V	1.1 @3 V 2.2 @5 V	1.1 @3 V 2.2 @5 V
晶振频率/kHz	32.768	32.768	32.768
工作温度/℃	-40~+85	-40~+85	-40~+85
程序存储器			
MSP430Cxxx	4 KB/8 KB/12 KB ROM	8 KB ROM	24 KB ROM
MSP430Pxxx	8 KB OTP	16 KB OTP	32 KB OTP
MSP430Exxx	8 KB EPROM	16 KB EPROM	32 KB EPROM
存储器扩展	无	无	无
内部 RAM/B	256/512	256/512	1 024
数据 EEPROM	无	无	无
模块			
硬件乘法器	无	无	有
P0, 8 位, 支持中断	有	有	有
P1, 8 位, 支持中断			有
P2, 8 位, 支持中断			有
P3			有
P4			有
看门狗定时器	有	有	有
Basic Timer1/实时钟	有	有	有
8 位定时器/计数器	有	有	有
定时器/端口, 1×8 位	有	有	有
Timer_A, 16 位	无	无	无
同步通信	无	无	SPI 模式
异步通信	定时器/端口 + 软件	定时器/端口 + 软件	UART 模式或 定时器/端口 + 软件
LCD 驱动	23×4 段	21×4 段	30×4 段
ADC/恒流源	见定时器/端口	有	见定时器/端口
DAC	无	无	无
I/O 引脚	9	9	40
输入引脚	1	7	1
输出引脚	27	25	34
中断/复位			
外部中断	11	11	1+24
向量数	16	16	16
封装类型	56 QFP	64 SSOP	100 QFP