

凌阳单片机 系列丛书



凌阳 16 位单片机 开发实例

凌阳科技 编著



北京航空航天大学出版社

TP368.1
252

凌阳单片机系列丛书

凌阳 16 位单片机开发实例

凌阳科技 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书介绍了凌阳 16 位单片机($\mu'nSP^{\text{TM}}$ 系列单片机)的硬件结构和原理、凌阳 16 位单片机的选型,以及利用凌阳 16 位单片机进行开发的实例等内容;并结合这些实例详细阐述了各种型号的凌阳 16 位单片机及其各个功能模块的应用。书中提供了 15 个开发实例,在设计思想以及软硬件设计等方面,都有着详细的描述,为广大读者提供了参考。

本书中的开发实例对凌阳公司单片机应用的各个领域都有所涉及,覆盖面广,涉及了凌阳多种型号 16 位单片机的应用,可读性、可参考性强。可以作为大学相关专业的本科生或者研究生进行电子设计、毕业设计的参考书,也可以作为从事单片机开发与应用的工程技术人员、广大电子爱好者的设计参考书。

图书在版编目(CIP)数据

凌阳 16 位单片机开发实例/凌阳科技编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2006. 6

ISBN 7-81077-824-2

I. 凌… II. 凌… III. 单片微型计算机, 凌阳 16
IV. TP368. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 018842 号

凌阳 16 位单片机开发实例

凌阳科技 编著

责任编辑 金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail: bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:14.25 字数:319 千字

2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 7-81077-824-2

定价:19.50 元

前 言

目前,凌阳科技的 16 位单片机已经在很多领域得到广泛应用。凌阳科技的 16 位单片机是以 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 的内核作为核心 CPU,内部集成了 ADC、DAC、PLL、AGC、DTMF 和 LCD DRIVER 等电路;采用了精简指令集(RISC),指令周期以 CPU 时钟数为单位;另外,还兼有 DSP 芯片功能,内置有 16 位硬件乘法器和加法器,支持 DSP 常用的乘法运算和内积运算,部分单片机还支持除法运算。

更重要的是,凌阳单片机有较高的处理速度,同时还具有可靠、实用、体积小、功耗低、性价比高和简单易学的特点,使得该单片机深受广大用户的欢迎。为了给用户提供凌阳单片机在应用设计方面更多更详细的资料,凌阳大学计划编写了此书。

本书收录了凌阳 16 位单片机的 15 个应用方案,方案从设计思想、方案论证再到具体软硬件设计,都做了详细的说明,给老师、学生、电子爱好者、业界工作者等用户提供了设计开发的参考。此外,这些方案涉及了基础应用、通信、家电、仪器仪表和消费性产品五大领域,以满足不同用户的需求。

本书共分为 6 章,其中:

第 1 章为凌阳 16 位单片机,是对凌阳 16 位单片机的概述性说明,介绍了凌阳 16 位单片机硬件结构、工作原理,凌阳 16 位单片机选型及其开发工具。

第 2 章为凌阳 16 位单片机的基础应用,详细介绍了凌阳 16 位单片机的典型应用,例如语音、LCD、SIO 和端口扩展的方案。

第 3 章为凌阳 16 位单片机在通信领域的应用,详细介绍了几种常见的通信方式,例如 USB 通信的应用方案。

第 4 章为凌阳 16 位单片机在家电领域的应用,详细介绍了市场上发展很快的电冰箱、变频空调等方案。

第 5 章为凌阳 16 位单片机在仪器仪表领域的应用,详细介绍了常用的数字万用表(带语音功能)、变频器等方案。

第 6 章为凌阳 16 位单片机在消费性产品中的应用,详细介绍了常见的消费性产品,例如电视教学琴的应用方案。

阅读本书的读者应具备基本的单片机理论知识以及单片机外围相关的知识,最好以前学习或者使用过凌阳单片机。

本书由凌阳科技教育推广中心组织编写,由北京北阳电子技术有限公司大学计划处处长罗亚非老师统一审稿,北京北阳电子技术有限公司技术支持部经理张向艳及技术支持部成员

参与了编写和校稿工作。在出版过程中,北京航空航天大学出版社给了很多好的意见和支持,在此致以诚挚的谢意。

读者可以登临阳大学计划网站:www.unsp.com.cn,下载更多更详细的资料;或者发邮件至 unsp@sunplus.com.cn, 进行问题咨询。由于作者水平有限,书中难免有纰漏错误,欢迎广大读者朋友批评指正。

编 者

2005 年 12 月于北京

目 录

第 1 章 凌阳 16 位单片机	1
1.1 凌阳单片机简介	1
1.2 凌阳 16 位单片机原理	2
1.2.1 CPU 结构与原理	3
1.2.2 片内存储器结构	10
1.2.3 $\mu'nSP^TM$ 的片内外设部件	11
1.3 凌阳 16 位单片机选型	18
1.3.1 SPCE061A 简介	18
1.3.2 SPMC701FM0A 简介	22
1.3.3 SPMC75F2413A 简介	24
1.3.4 SPT6602A 简介	26
1.3.5 SPT6604A 简介	29
1.3.6 SPT6608A 简介	32
1.3.7 SPG200A 简介	34
1.3.8 SPL16256A 简介	36
1.3.9 SPF32 简介	38
1.4 开发工具	40
1.4.1 硬件开发工具	40
1.4.2 软件开发工具	41
第 2 章 凌阳 16 位单片机的基础应用	45
2.1 常用 LCD(FM12232A)在 SPCE061A 上的应用	45
2.1.1 总体设计思想	45
2.1.2 系统器件选择	45
2.1.3 系统总体方案设计	49
2.1.4 系统硬件设计	49
2.1.5 系统软件设计	51

2.1.6 系统小结.....	52
2.2 基于 W29C040 和 SPCE061A 的数码录音及播放系统	52
2.2.1 总体设计方案.....	52
2.2.2 系统器件选择.....	52
2.2.3 系统总体方案设计.....	55
2.2.4 系统硬件设计.....	55
2.2.5 系统软件设计.....	55
2.2.6 系统小结.....	59
2.3 使用 SPCE061A 的 SIO 实现数码的录音及播放	59
2.3.1 总体设计思想.....	59
2.3.2 系统器件选择.....	60
2.3.3 系统总体方案设计.....	60
2.3.4 系统硬件设计.....	61
2.3.5 系统软件设计.....	62
2.3.6 系统小结.....	65
2.4 SPCE061A 端口扩展方案.....	65
2.4.1 总体设计思想.....	65
2.4.2 系统器件选择.....	65
2.4.3 系统总体方案设计.....	69
2.4.4 系统硬件设计.....	72
2.4.5 系统软件设计.....	72
2.4.6 系统小结.....	75
第 3 章 凌阳 16 位单片机在通信领域的应用.....	76
3.1 SPCE061A 单片机在 USB 通信中的应用	76
3.1.1 总体设计思想.....	76
3.1.2 系统器件选择.....	77
3.1.3 系统总体方案设计.....	78
3.1.4 系统硬件设计.....	79
3.1.5 系统软件设计.....	80
3.1.6 系统方案验证.....	82
3.1.7 系统小结.....	91
3.2 SPCE061A 在 IP 电话中的应用	91
3.2.1 总体设计思想.....	91

3.2.2 系统总体方案设计	92
3.2.3 系统硬件设计	93
3.2.4 系统软件设计	100
3.2.5 系统小结	104
3.3 SPT6602A 在具有远程家电控制功能电话中的应用	107
3.3.1 总体设计思想	107
3.3.2 系统器件选择	107
3.3.3 系统总体方案设计	107
3.3.4 系统硬件设计	108
3.3.5 系统软件设计	110
3.3.6 系统小结	113
3.4 SPT6608A 在短消息电话机中的应用	115
3.4.1 总体设计思想	115
3.4.2 系统器件选择	115
3.4.3 系统硬件设计	115
3.4.4 系统软件设计	118
3.4.5 系统小结	123
第4章 凌阳16位单片机在家电领域的应用	124
4.1 SPCE061A 在电冰箱中的应用	124
4.1.1 总体设计思想	124
4.1.2 系统总体方案设计	124
4.1.3 系统硬件设计	124
4.1.4 系统软件设计	127
4.1.5 系统小结	129
4.2 SPCE061A 在语音智能空调控制器中的应用	130
4.2.1 总体设计思想	130
4.2.2 系统总体方案设计	131
4.2.3 系统硬件设计	132
4.2.4 系统软件设计	138
4.2.5 系统小结	142
4.3 SPMC75F2413A 在直流变频空调中的应用	143
4.3.1 总体设计思想	143
4.3.2 系统器件选择	143

4.3.3 系统总体方案设计	144
4.3.4 系统硬件设计	144
4.3.5 系统软件设计	147
4.3.6 系统小结	153
4.4 SPCE061A 在语音智能型洗衣机控制器中的应用	153
4.4.1 总体设计思想	153
4.4.2 系统总体方案设计	154
4.4.3 系统硬件设计	154
4.4.4 系统软件设计	157
4.4.5 系统小结	160
第 5 章 凌阳 16 位单片机在仪器仪表领域的应用	161
5.1 SPCE061A 在语音数字万用表中的应用	161
5.1.1 总体设计思想	161
5.1.2 系统总体方案设计	162
5.1.3 系统硬件设计	162
5.1.4 系统软件设计	169
5.1.5 系统小结	172
5.2 SPMC701FM0A 在 UPS 中的应用	172
5.2.1 总体设计思想	172
5.2.2 系统总体方案设计	174
5.2.3 系统硬件设计	176
5.2.4 系统软件设计	182
5.2.5 系统小结	185
5.3 SPCE061A 在安防报警器中的应用	185
5.3.1 总体设计思想	185
5.3.2 系统总体方案设计	186
5.3.3 系统硬件设计	187
5.3.4 系统软件设计	188
5.3.5 产品的部分规格	190
5.3.6 系统小结	190
5.4 SPMC75F2413A 在通用变频器中的应用	194
5.4.1 总体设计思想	194
5.4.2 系统器件选择	194

5.4.3 系统总体方案设计	194
5.4.4 系统硬件设计	195
5.4.5 系统软件设计	196
5.4.6 系统小结	197
第6章 凌阳16位单片机在消费性产品中的应用	198
6.1 基于SPG200A的电视教学琴设计	198
6.1.1 总体设计思想	198
6.1.2 系统总体方案设计	199
6.1.3 系统硬件设计	199
6.1.4 系统软件设计	201
6.1.5 系统小结	203
6.2 SPL16256A在电子销售终端上的应用	203
6.2.1 总体设计思想	203
6.2.2 系统总体方案设计	204
6.2.3 系统硬件设计	204
6.2.4 系统软件设计	208
6.2.5 系统小结	211
6.3 SPCE061A在多功能提醒器中的应用	211
6.3.1 总体设计思想	211
6.3.2 系统总体方案设计	212
6.3.3 系统硬件设计	212
6.3.4 系统软件设计	214
6.3.5 系统小结	215

第 1 章 凌阳 16 位单片机

1.1 凌阳单片机简介

凌阳科技(<http://www.sunplus.com>)是世界级消费性电子产品零件供应商,积极引领各类消费性芯片的研发与创新设计,实现科技产品应用于生活中。凌阳科技是世界前 20 大芯片设计公司,拥有先进的设计技术,提供几千种标准产品。这些产品广泛应用于工业领域和消费类电子产品领域。同时凌阳科技还提供有高性能的外围电路,包括 LCD、AGC、DTMF、A/D、D/A、UART、SPI、PCI、计数器和存储控制器等,其中部分型号的单片机可以完成在线编程、仿真和调试。此设计不仅降低了开发者的成本,而且在很大程度上可以加快开发者的设计进程。

凌阳科技的单片机除了在 MCU 上集成更多的具有混合外设功能的模块和大容量的存储器以外,还集成了一些诸如数字处理和语音处理等功能,竭力提高单片机的性能/价格比,使其应用更加广泛。本章将特别针对凌阳科技自行开发的 16 位单片机讲述其系列产品的结构设计特点。表 1.1 给出了凌阳公司 16 位单片机的系列产品。

表 1.1 凌阳 16 位单片机系列

系列类型	IC 型号	用 途
SPCEXXX	SPCE500A, SPCE060A, SPCE061A	主要应用于语音播放和语音识别领域
SPGXXX	SPG100A, SPG200A	主要应用于视频游戏机类产品
SPT660X	SPT6601A, SPT6602A	主要应用于通信领域中带 LCD 驱动的来电辨识功能
SPMCXXX	SPMC701, SPMC75FXXXX	通用微控制器,适用于家电应用、工业控制应用领域
SPFXXX	SPF32A, SPF32512A	主要应用于高档电子乐器
SPL16XXX	SPL16256A, SPL161001	主要应用于数字声音,语音辨识,显示屏等领域

SPCE 系列单片机内置全双工异步通信串行接口,可实现多机通信,方便地组成分布式控制系统;红外收发通信接口,可用于近距离的双机通信或制作红外遥控装置;A/D、D/A 转换接口,可方便地用于各种数据的采集、处理和控制输出,并为与用户系统友好交互打下基础;

A/D、D/A 转换接口与 $\mu'nSP^{TM}$ (microcontroller and signal processor, 凌阳推出的 16 位微处理器芯片) 的 DSP 运算功能配合使用, 可实现语音识别功能, 从而使其方便地运用于语音识别领域。

SPG 系列单片机配备 $\mu'nSP^{TM}$ 内核、图片处理单元 (PPU) 和声音处理单元 (SPU), 能产生电视系统 (NTSC 或 PAL) 的图像和声音; 内置 10 位 ADC、UART 接口、SPI 接口和其他连接各种输入输出的装置, 如图像传感器和触摸盘等。

SPT660X 系列单片机内置双音多频 (DTMF, dual tone multi frequency) 发生器, 可实现电话拨号功能; LCD 控制器/驱动器; 具有 4~8 路自动增益控制的 ADC 通道及用于播放乐曲/语音的 DAC 通道。同样, 它们与 $\mu'nSP^{TM}$ 的 DSP 运算功能配合使用, 可实现来电辨识和语音拨号功能。

SPMC 系列单片机内置标准外围接口、并行通信接口, 及捕获、比较和脉宽调制等功能, 使其能够方便地应用于家电产品、工业控制以及汽车等一般控制领域。

SPF 系列单片机配备 2 个处理器, 包括 $\mu'nSP^{TM}$ 和 32 通道声音处理单元 (SPU), 内置 LCD 控制器 (可达 1024×256 个像素)、SPI 接口、10 位 ADC、UART (MIDI) 接口和其他连接不同输入输出的装置。SPF 系列单片机可提供最新的声音处理技术。

SPL16 系列单片机配备 $\mu'nSP^{TM}$ 内核, 内置 16 位 LCD 控制器 (支持 16 级灰度, 可达 320×320 个像素), 提供低电压检测/复位功能和 7 个 12 位 ADC 通道 (一个通道内置带自动增益控制的 MIC 放大器), 主要应用于具备数字语音功能和带 LCD 显示的产品。

1.2 凌阳 16 位单片机原理

凌阳 16 位单片机的 CPU 内核采用凌阳最新推出的 $\mu'nSP^{TM}$ (microcontroller and signal processor, 读为 Micro-n-SP) 16 位微处理器芯片 (以下简称 $\mu'nSP^{TM}$)。围绕 $\mu'nSP^{TM}$ 所形成的 16 位 $\mu'nSP^{TM}$ 系列单片机, 采用的是模块式集成结构, 它以 $\mu'nSP^{TM}$ 内核为中心集成了不同规模的 ROM、RAM 和功能丰富的各种外设接口部件, 如图 1.1 所示。

$\mu'nSP^{TM}$ 内核是一个通用的核结构, 除此之外的其他功能模块均为可选结构, 亦即这种可选结构可大可小或可有可无。借助这种通用结构及附加可选的积木式结构, 便可派生出不同系列的产品, 以适合不同应用场合的需要。这样做

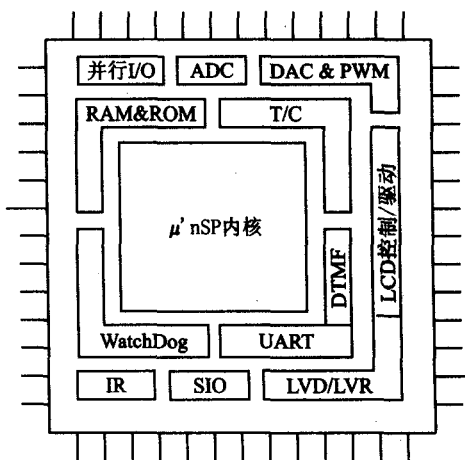


图 1.1 $\mu'nSP^{TM}$ 模块式结构

疑会使其派生产品具有更强的功能和更低的成本。

$\mu'nSP^{TM}$ 系列芯片有以下特点:

(1) 体积小、集成度高、可靠性好且易于扩展

$\mu'nSP^{TM}$ 家族把各功能部件模块化地集成在一个芯片里,内部采用总线结构,因而减少了各功能部件之间的连线,提高了可靠性和抗干扰能力。另外,模块化的结构易于系统扩展,以适应不同用户的需求。

(2) 具有较强的中断处理能力

$\mu'nSP^{TM}$ 家族的中断系统支持9个事件中断向量及10余个中断源,适合于实时控制领域。

(3) 高性能价格比

$\mu'nSP^{TM}$ 家族片内带有高寻址能力的ROM、静态RAM和多功能的I/O口。另外, $\mu'nSP^{TM}$ 家族指令系统提供的具有较高运算速度的16位 $\times$ 16位的乘法运算指令和内积运算指令,为其应用增添了DSP功能,使得 $\mu'nSP^{TM}$ 家族运用在复杂的数字信号处理方面既便利,又比专用的DSP芯片廉价。

(4) 功能强、效率高的指令系统

$\mu'nSP^{TM}$ 家族指令系统的指令格式紧凑,执行迅速,并且其指令结构提供了对高级语言的支持,大大缩短了产品的开发时间。

(5) 低功耗、低电压

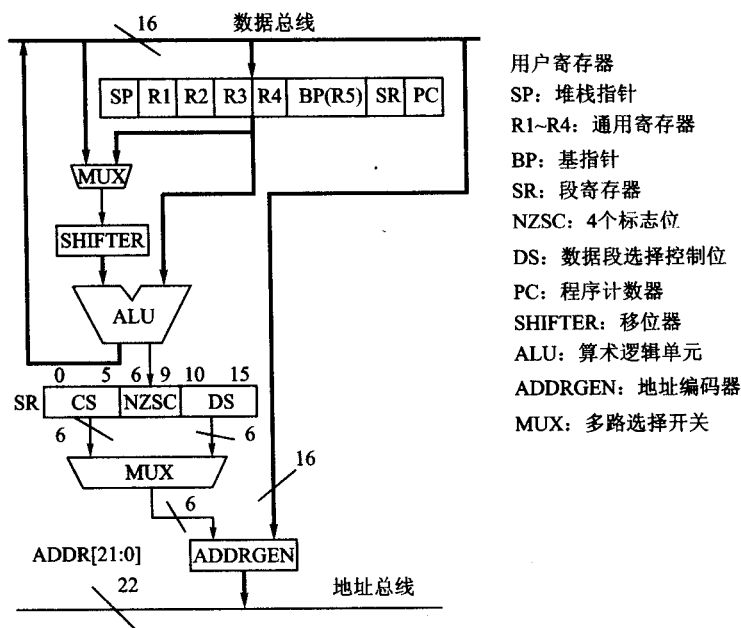
低功耗、低电压的 $\mu'nSP^{TM}$ 家族采用CMOS制造工艺,同时提供了软件激发的弱振方式、空闲方式和掉电三种低功耗工作方式,极大地降低了系统功耗。另外, $\mu'nSP^{TM}$ 家族的工作电压范围较大,能在低电压供电时正常工作,且可用电池供电,这对于在野外作业领域中的应用具有特殊的意义。

1.2.1 CPU结构与原理

$\mu'nSP^{TM}$ 的内核如图1.2所示。它由总线、算术逻辑运算单元、寄存器组、中断系统及堆栈等部分组成。图右边的文字为各部分简要说明。

1. 数据总线和地址总线

$\mu'nSP^{TM}$ 具有16位数据总线和22位地址总线。由此决定其基本数据类型是16位的“word”型,而不是8位的“byte”型。22位地址线最多可寻访4M字的存储空间。地址线中的高6位A16~A21来自段寄存器SR中的6位代码段(CS; code segment)或6位数据段(DS; data segment)选择字段,低16位A0~A15则来自相应的内部寄存器。通常,地址线的高6位称为存储器的页索引码,简称页码(page);而低16位则称为存储器的地址偏移量(offset)。 $\mu'nSP^{TM}$ 通过对段(segment)的编码来实现存储器页的检索,即是说“segment”的含义与“page”的含义是等同的。因而,通过segment与offset的配合即可产生22位地址线,如图1.2

图 1.2 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 的内核结构

中 ADDRGEN 所示。

2. 算术逻辑运算单元 ALU

$\mu'nSP^{\text{TM}}$ 的 ALU 在运算能力上很有特色,它不仅用于 16 位基本的算术逻辑运算,还可用于带移位操作的 16 位算术逻辑运算,同时还能用于数字信号处理的 16 位 $\times$ 16 位的乘法运算和内积运算。

(1) 16 位算术逻辑运算

$\mu'nSP^{\text{TM}}$ 与大多数 CPU 类似,提供了基本的算术运算与逻辑操作指令,包括加、减、比较、取补、异或、或、与、测试、写入和读出等 16 位算术逻辑运算及数据传送操作。

(2) 带移位操作的 16 位算术逻辑运算

由图 1.2 中可知,在 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 的 ALU 前面串接一个移位器 SHIFTER。也就是说,操作数在经过 ALU 的算术逻辑操作前可先进行移位处理,然后再经 ALU 完成算术逻辑运算操作。移位包括算术右移、逻辑左移、逻辑右移、循环左移以及循环右移。所以, $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 的指令系统里专有一组复合式的“移位算术逻辑操作”指令,该条指令完成移位和算术逻辑运算两项功能。程序设计者可利用这些复合式的指令,编写出更为精简的程序代码,进而增加程序代码密集度(code density)。在微控制器应用中,如何增加程序代码密集度是非常重要的议题;提高程序代码密集度意味着减少程序代码的大小,进而减少对 ROM 或 FLASH 的需求,以此来

降低系统成本,增加执行效率。

(3) 16位×16位的乘法运算和内积运算

除了普通的16位算术逻辑运算指令外, $\mu'nSP^{TM}$ 指令系统还提供了处理速度较高的16位×16位的乘法运算指令 Mul 和内积运算指令 Muls。两者都可以用于两个有符号数或一个有符号数与一个无符号数的运算。在该指令集下,Mul 指令只需花费12个时钟周期,Muls 指令花费 $10n+6$ 个时钟周期,其中 n 为乘积求和的项数。例如:“MR=[R2]*[R1],4”表示求4项乘积的和,Muls 指令只需花费 $46(10\times4+6=46)$ 个时钟周期。这两条指令为 $\mu'nSP^{TM}$ 应用于复杂的数字信号处理运算提供了便利的条件。

3. 寄存器组

$\mu'nSP^{TM}$ 的 CPU 寄存器组里有8个16位寄存器,可分为通用型寄存器和专用型寄存器两大类。通用型寄存器包括 R1~R4,作为算术逻辑运算的源及目标寄存器。专用型寄存器包括 SP、BP、SR 和 PC,作为与 CPU 特定用途相关的寄存器。其各自的功能描述见表 1.2 所列。

(1) 通用型寄存器(R1~R4)

R1~R4 通常可分别用于数据运算或传送源及目标寄存器。而寄存器 R3 和 R4 配对使用还可组成一个32位的乘法结果寄存器 MR;其中 R4 为结果的高位字,R3 为结果的低位字,用于存放乘法运算或内积运算结果。

(2) 堆栈指针寄存器(SP)

SP 在 CPU 执行压栈/出栈指令(push/pop)、子程序调用/返回指令(call/retf)以及进入中断服务子程序(ISR,interrupt service routine)或从 ISR 返回指令(reti)时自动减少(压栈)或增加(弹栈),以示堆栈指针的移动。堆栈的最大容量范围限制在2KB的RAM内,即地址为 $0x000000\sim0x0007FF$ 的存储器范围中。

(3) 基址指针寄存器(BP)

$\mu'nSP^{TM}$ 提供了一种方便的寻址方式,即变址寻址方式[BP+IM6(IM16)]。程序设计者可通过它直接存取 ROM 与 RAM 中的各种数据,包括局部变量(local variable)、函数参数(function parameter)和返回地址(return address)等,这在 C 语言程序设计中是特别有用的。BP 除了上述用途外,也可作为通用寄存器 R5 使用。因此,在本章或程序中,BP 与 R5 是共享的,均代表基址指针寄存器。

(4) 段寄存器(SR)

SR 寄存器有多种功能用途,如图 1.2 所示。SR 中有代码段选择字段(CS)和数据段选择

表 1.2 CPU 寄存器及其功能

寄存器 ID 号	寄存器符号	功能名称
0(000)	SP	堆栈指针寄存器
1(001)	R1	通用型寄存器
2(010)	R2	通用型寄存器
3(011)	R3	通用型寄存器
4(100)	R4	通用型寄存器
5(101)	BP(R5)	基址指针寄存器
6(110)	SR	段寄存器
7(111)	PC	程序指针寄存器

字段(DS),它们可分别与其他 16 位的寄存器合在一起形成 22 位地址线,用来寻址 4 MB 容量的存储器。

算术逻辑运算结果的各标志位 NZSC 亦存储于其中,即 SR 中间的 4 位(B6~B9)。CPU 在执行条件/无条件短跳转指令(JMP)时需测试这些标志位以控制程序的流向。这些标志位的内容是:

进位标志 C: C=0 时表示运算过程中无进位或有借位产生;而 C=1 表示运算过程中有进位或无借位产生。在无符号数运算中,16 位数可以表示的数值范围是 0x0000~0xFFFF,即 0~65 535。如果运算结果大于 65 535(0xFFFF),则标志位 C 被置 1。请注意:标志位 C 一般用于无符号数运算的进、借位判断。

零标志 Z: Z=0 时表示运算结果非 0;Z=1 时表示运算结果为 0。

负标志 N: 标志位 N 用来判断运算结果的最高位(B15)为 0 还是为 1。N=0 则 B15=0; N=1 则 B15=1。

符号标志 S: S=0 时表示运算结果非负;S=1 时则表示运算结果(在二进制补码的规则下)为负。对于有符号数运算,16 位数所表示的数值范围是 0x8000~0x7FFF,即 -32 768~32 767。若运算结果小于零,则标志位 S 置 1。有符号数运算的运算结果可能会大于 0x7FFF 或小于 0x8000。比如:0x7FFF+0x7FFF=0xFFFE(65 534),运算结果为正(S=0),且无进位(C=0)发生。在此情况下,标志位 N 被置 1(因为最高有效位为 1)。若标志位 N 和 S 不同,即 S=0,N=1 或 S=1,N=0,则说明有溢出发生。而 JVC(N==S),JVS(N!=S)则可用于判断是否有溢出发生。注意 N 与 S 的组合用于有符号数溢出的判断。

(5) 程序计数器(PC)

PC 的作用与所有微控制器中的 PC 作用相同,是作为程序的地址指针来控制程序走向的专用寄存器。CPU 每执行完当前指令,都会将 PC 值累加当前指令所占的字节数或字数,以指向下一条指令的地址。在 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 中,16 位的 PC 通常与 SR 寄存器中的 CS 选择字段共同组成 22 位的程序代码地址。

4. 堆 栈

堆栈是在内存 RAM 区专门开辟出来的按照“先进后出”原则进行数据存取的一种工作方式,其结构如图 1.3 所示,主要用于子程序调用及返回和中断处理断点的保护及返回。值得注意的是堆栈的生长方向,系统复位后,SP 初始化为栈区的最高地址处,每执行 PUSH 指令一次,SP 指针减 1。

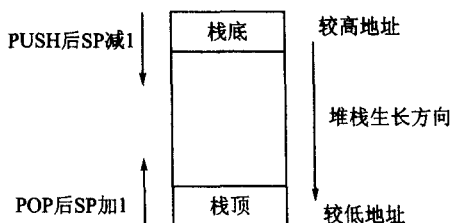


图 1.3 堆 栈

压栈(push)操作如图 1.4(a)所示。堆栈指针 SP 总是指向位于栈顶的第一个空项。在压

入一个字数据后 SP 减 1。将多个寄存器压栈写入时总是让指令中序号最高的寄存器先入栈，直至序号最低的寄存器最后入栈。因此，执行指令 `push r1, r4 to [sp]` 与指令 `push r4, r1 to [sp]` 是等效的。

弹栈(pop)操作前 SP 总是指向栈底的第一个空项，如图 1.4(b)所示。按照 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 堆栈“先进后出”的原则，在弹栈复制数据之前 SP 要加 1，并且总是将先弹出复制的数据置入指令中序号最低的寄存器，直至最后一个复制数据置入序号最高的寄存器。

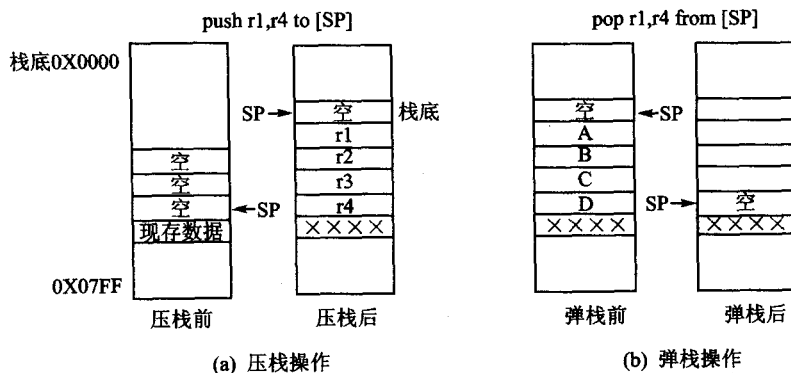


图 1.4 压、弹栈操作示意图

5. 系统时钟

不同型号的 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 单片机，其系统时钟提供的方式不同，例如 SPMC701FM0A，其外部时钟振荡器有两个，一个是 6 MHz 晶振或者 RC 振荡电路，另一个是 32 768 Hz 晶振。6 MHz 晶振用于内部的锁相环振荡器，32 768 Hz 晶振用于提供时间基准信号。而 SPCE061A 单片机的系统时钟与 SPMC701 又有不同，此处以 SPCE061A 为例重点介绍。

SPCE061A 的系统时钟由时钟发生器(32 768 Hz 晶振)、锁相环(PLL)和时基信号(RTC)三部分组成，其结构如图 1.5 所示。

32 768 Hz 的晶体振荡器经过 PLL 倍频电路产生系统时钟频率(f_{osc})， f_{osc} 再经过分频得到 CPU 时钟频率(CPUCLK)。默认的 f_{osc} 、CPUCLK 分别为 24.576 MHz 和 $f_{\text{osc}}/8$ 。

此外，32 768 Hz 振荡器有两种工作方式：强振模式和自动弱振模式。处于强振模式时，RC 振荡器始终运行在高耗能的状态下；处于自动弱振模式时，系统在上电复位后的前 7.5 s 内处于强振模式，之后自动切换到弱振模式以降低功耗。CPU 被唤醒后默认的时钟频率为 $f_{\text{osc}}/8$ ，用户可以根据需要调整该值。

(1) 时钟发生器

SPCE061A 时钟电路的接线图如图 1.6 所示，其外接晶振采用 32 768 Hz。因 RC 振荡器的电路时钟不如外接晶振准确，故推荐使用外接 32 768 Hz 晶振。