

凌阳大学计划

[www.unsp.com.cn](http://www.unsp.com.cn)

# $\mu'nSP^{TM}$

## 十六位单片机简介

2002-4-6

凌阳大学计划技术资料



凌陽科技股份有限公司  
SUNPLUS TECHNOLOGY CO., LTD.

# 序 言

如今的时代，当人们还未来得及反应透彻时，科技已从科学家或科技工作者的实验室悄悄走入了人们的工作和生活中。毕竟，生活在科技中的人们还是要琢磨的，神奇的网络为什么能把世界的距离拉的这么近？逼真的视频、音频效果何以能让人感受到来自天堂的身姿或声音？把一些不那么人性化的事情托付给机器人吧！人与自然交融的会更和谐、更友好……让这一切得以实现，已不再仅仅是美好的幻想；路，真的就在脚下！

走入凌阳科技的殿堂，让人惊诧不已！以往一些不可思议的问题，在此得到了解答。本书通过对凌阳科技的 $\mu'nSP^{TM}$ 家族单片机的引荐想告诉众人，科技面对人们生活中的不满或不足不会自暴自弃，而会以谦逊的态度和实干的理智回馈以生活更臻完美。

$\mu'nSP^{TM}$ 家族单片机系凌阳科技最新研制出的具有 16 位 CPU 内核的系列单片机。与以往 8 位单片机不同的是，它不仅内嵌有大容量的 ROM、SRAM 以及诸多功能的外设接口等，而且考虑到作为新一代的微控制器要适应更高级的控制要求而增添了语音功能和 DSP 功能，并使其价格大大低于专用 DSP 芯片而为用户带来产品较高的性能/价格比。

本书共分四个章节简述了凌阳的单片机特别是 16 位 $\mu'nSP^{TM}$ 家族单片机。其中第一章节对凌阳的单片机进行了综述，并着重对 $\mu'nSP^{TM}$ 家族单片机的技术性能、设计要点及其应用进行了扼要地勾画。第二、三章则从 $\mu'nSP^{TM}$ 家族设计的硬件、软件结构方面给予了渐深层的刻画。而第四章又将 $\mu'nSP^{TM}$ 家族产品的开发工具简要地展现出来。

至此，希望 $\mu'nSP^{TM}$ 家族单片机从结构到性能、从用途到开发迅速能在读者心目中构筑出一个轮廓性的纲要。有了纲，其目可张。愿本书与凌阳科技大学计划一起，伴随着春风，走进大学，走入课堂，走近众多科技工作者的身旁。

许多技术细节都不在本书叙述的范围之内。关于 $\mu'nSP^{TM}$ 单片机更为详细的技术资料可参见《 $\mu'nSP^{TM}$ 单片机》一书，亦可通过凌阳科技网站[www.sunplus.com.cn](http://www.sunplus.com.cn)或凌阳科技大学计划网站[www.unsp.com.cn](http://www.unsp.com.cn)了解相关的技术资料；此外，需要时也可藉由电子邮件信箱[unsp@sunplus.com.cn](mailto:unsp@sunplus.com.cn)得到一些问题的解答。

由于编著者水平所限，本书会存在一些不尽如人愿之处，恳请读者批评指正，尤其期待试用本书的各位老师或同行们提出意见和建议，在此特致预谢！

编著者

2002.4.5 于北阳

# 目 录

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 第一章 凌阳单片机总览.....                                               | 1  |
| 1.1 8 位单片机.....                                                | 1  |
| 1.2 16 位单片机.....                                               | 2  |
| 1.2.1 概述.....                                                  | 2  |
| 1.2.2 $\mu'nSPT^M$ 家族印象.....                                   | 3  |
| 1.2.3 $\mu'nSPT^M$ 家族的设计特点及发展策略.....                           | 5  |
| 1.3 $\mu'NSPT^M$ 家族产品.....                                     | 5  |
| 1.3.1 $\mu'nSPT^M$ 家族各系列产品的技术性能.....                           | 5  |
| 1.3.2 SPCE 产品技术概况.....                                         | 7  |
| 1.3.3 $\mu'nSPT^M$ 家族产品的应用领域.....                              | 8  |
| 第二章 $\mu'NSPT^M$ 基本结构简介.....                                   | 10 |
| 2.1 $\mu'NSPT^M$ 的内核结构.....                                    | 10 |
| 2.1.1 数据总线和地址总线.....                                           | 10 |
| 2.1.2 算逻运算单元 ALU.....                                          | 11 |
| 2.1.3 寄存器组.....                                                | 11 |
| 2.1.4 堆栈.....                                                  | 13 |
| 2.1.5 中断.....                                                  | 13 |
| 2.1.6 低功耗工作方式.....                                             | 15 |
| 2.2 $\mu'NSPT^M$ 的片内存储器结构.....                                 | 15 |
| 2.3 $\mu'NSPT^M$ 的片内外设部件.....                                  | 16 |
| 2.3.1 并行 I/O 口及其功能扩展.....                                      | 16 |
| 2.3.2 通用异步串行接口 UART.....                                       | 16 |
| 2.3.3 串行设备接口 SIO.....                                          | 18 |
| 2.3.4 模/数转换器 ADC 输入接口.....                                     | 19 |
| 2.3.5 音频输出.....                                                | 19 |
| 2.3.6 定时器/计数器.....                                             | 21 |
| 2.3.7 时钟系统.....                                                | 21 |
| 2.3.8 系统维护.....                                                | 22 |
| 2.4 $\mu'NSPT^M$ 家族产品的结构.....                                  | 23 |
| 2.4.1 SPCE 系列产品的结构.....                                        | 23 |
| 2.4.2 SPMC903 的结构.....                                         | 24 |
| 2.4.2 SPT6602 的结构.....                                         | 25 |
| 第三章 $\mu'NSPT^M$ 的指令系统简介.....                                  | 26 |
| 3.1 $\mu'NSPT^M$ 指令的分类.....                                    | 27 |
| 3.2 $\mu'NSPT^M$ 指令的寻址方式.....                                  | 28 |
| 3.3 $\mu'NSPT^M$ 指令集详述.....                                    | 29 |
| 3.3.1 数据传送类指令 (Data-Transfer Instructions).....                | 29 |
| 3.3.2 算逻运算类指令 (Arithmetic/Logical-Operation Instructions)..... | 31 |

|       |                                         |    |
|-------|-----------------------------------------|----|
| 3.3.3 | 转移控制类指令 (Transfer-Control Instructions) | 43 |
| 3.3.4 | 其它控制类指令 (Miscellaneous Instructions)    | 45 |
| 3.4   | $\mu\text{'NSP}^{\text{TM}}$ 汇编器的伪指令    | 47 |
| 3.4.1 | 伪指令的语法格式及类别                             | 47 |
| 3.4.2 | 伪指令符号约定                                 | 48 |
| 3.4.3 | 标准伪指令                                   | 48 |
| 3.5   | 汇编语言语法格式                                | 59 |
| 3.5.1 | 数制、数据类型与参数                              | 59 |
| 3.5.2 | 连接运算符及其优先次序                             | 59 |
| 3.5.3 | 地址表达式与标号                                | 60 |
| 3.5.4 | 程序注释与符号规定                               | 61 |
| 3.5.5 | 宏的定义与调用                                 | 61 |
| 3.5.6 | 段的定义与使用                                 | 61 |
| 3.5.7 | 结构的定义与引用                                | 62 |
| 3.5.8 | 过程的定义与调用                                | 62 |
| 第四章   | $\mu\text{'NSP}^{\text{TM}}$ 家族产品开发工具简介 | 64 |
| 4.1   | $\mu\text{'NSP}^{\text{TM}}$ 系统仿真板      | 64 |
| 4.1.1 | 仿真板的结构                                  | 64 |
| 4.1.2 | 仿真板与 PC 机连接                             | 66 |
| 4.2   | $\mu\text{'NSP}^{\text{TM}}$ IDE        | 66 |
| 4.2.1 | 安装指南                                    | 66 |
| 4.2.2 | 注册登记                                    | 67 |
| 4.3   | $\mu\text{'NSP}^{\text{TM}}$ IDE 窗口界面总览 | 67 |
| 4.3.1 | Workspace 窗口                            | 68 |
| 4.3.2 | Edit 窗口                                 | 68 |
| 4.3.3 | Output 窗口                               | 68 |
| 4.3.4 | 其它窗口                                    | 69 |
| 4.4   | $\mu\text{'NSP}^{\text{TM}}$ IDE 的项目    | 71 |
| 4.4.1 | 项目的文档操作                                 | 71 |
| 4.4.2 | 项目选项的设置                                 | 72 |
| 4.4.3 | 库管理器的使用                                 | 73 |
| 4.4.4 | 项目的编制                                   | 73 |
| 4.5   | 程序运行及调试                                 | 74 |
| 4.5.1 | 控制程序运行                                  | 74 |
| 4.5.2 | Debug 窗口                                | 74 |
| 4.5.3 | 代码剖视器功能                                 | 75 |
| 4.5.4 | 开发环境的设置                                 | 75 |

# 第一章 凌阳单片机总览

目前, 各类微控制器 (MCU, Micro-Controller Unit) 大致的发展态势是: 4 位机的市场份额呈下降趋势; 32 位机将会以较快的速度发展起来, 并逐渐扩大其市场占有率。而目前占有绝大部分市场且极有发展前途的则是 8 位机和 16 位机。

为了提高 8 位和 16 位 MCU 的性能, 各芯片制造厂商采取各种设计途径。其中之一就是在 MCU 上集成更多的外设功能模块, 使 MCU 从单纯的计算功能扩展成具有混合外设、适当数量和类型的存储器以及计算功能的集合, 而被称为单芯片微型计算机 (简称单片机)。

凌阳科技的单片机除了 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, 还把一些诸如数字处理功能和语音处理功能等集成在 MCU 上, 竭力提高单片机的性能/价格比, 使其应用又上了一个更高的台阶。凌阳科技的单片机种类较多, 基本上分为 8 位机和 16 位机两个系列。本章将对这两个系列单片机的特点做一概要性的介绍, 并将特别针对凌阳科技自行开发的 16 位机  $\mu'nSP^{\text{TM}}$  CPU 内核, 讲述其系列产品的结构设计特点及  $\mu'nSP^{\text{TM}}$  的发展策略。

## 1.1 8 位单片机

凌阳科技的 8 位单片机的 CPU 内核均为 6502 兼容型。表 1.1 列出了 8 位单片机系列 IC 类型、型号及其各自的用途。

表 1.1 凌阳的 8 位单片机产品一览

| IC 类型      | IC 型号                                                      | 用 途                        |
|------------|------------------------------------------------------------|----------------------------|
| LCD 控制/驱动器 | SPL3X, SPL6X, SPL19X, SPLB 系列, SPDCX 系列                    | 游戏机, 高级游戏机, 数据库            |
|            | SPL0X 系列, SPL128A, SPL13X 系列, SPLD8X 系列, SPLCX 系列, SPLG01A | 游戏机, 高级游戏机, 文字图形编辑器        |
|            | SPL08, SPL09, SPL081, SPLXX,                               | 计算器, 数据库                   |
| 8 位微控制器    | SPEF 系列(低速), SPC 系列(高速), SPDS 系列, SPCR0X 系列, SPMC 系列       | 高级电子玩具, 嵌入式计算机系统           |
| 多媒体控制      | SPCA 系列                                                    | 数码相机, TV 编码器, MPEG1 解码器等   |
| 语音/音乐合成器   | SPS 系列, SPES 系列, SPMA 系列, SPD 系列, SPF 系列, SPFA 系列          | 各种档次的电子琴, 语音/音乐合成器等        |
| 其 它        | SPC08, SPR, SPRS SPY0012, SPY0016                          | LED, ROM, SRAM, 语音驱动, 稳压器等 |

上面表里诸多系列按功能大致分为四个系列：SPL 系列，SPC 系列，SPF 系列以及其它系列。SPL 系列基本上都带有 LCD 驱动；并且该系列的有些产品还带有发声功能，可用来制作各种款式的计算器、个人资料库及游戏机等。SPC 系列则是带有双声道发声功能的单片机，可用来制作各种高级电子玩具或电子宠物等。SPF 系列是凌阳研制出的带有多通道（四通道、八通道等）发声功能的单片机，以此可研制各种档次的电子琴类产品。除此之外，还有一些专门用于诸如摄像、放像以及声音等媒体控制的芯片。

由于凌阳的 8 位单片机普遍具有体积小、功耗低、性能好及可靠性高，且易于开发等特点，故这些 8 位单片机均可用来研制开发具有特殊功能的各种嵌入式计算机系统。

## 1.2 16 位单片机

### 1.2.1 概述

随着单片机功能集成的发展，其应用领域也逐渐地由传统的控制扩展为控制处理、数据处理以及数字信号处理（DSP，Digital Signal Processing）等领域。凌阳的 16 位单片机就是为适应这种发展而设计的。它的 CPU 内核为凌阳最新推出的  $\mu'nSP^TM$ （Micro and Signal Processor）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（以下简称  $\mu'nSP^TM$  家族）与 8 位机功能相比，可以在较宽的电源电压范围（2.6V~5.5V）及系统时钟频率范围（0.375MHz~24.576MHz）内工作；除了数据总线增至 16 位而提高了工作速度以外，在  $\mu'nSP^TM$  家族里还集成了比 8 位机功能更强的硬件资源。其中有大量容量的 ROM 及静态 RAM、RS-232 通用异步全双工串行接口、10 位模/数及数/模转换及内置带自动增益控制的扩音器输入通道、32768Hz 实时时钟以及低电压复位/低电压监测系统。另外， $\mu'nSP^TM$  家族中有些系列嵌入了 LCD 控制/驱动和双音多频发生器功能等等。

$\mu'nSP^TM$  的指令系统提供的特殊指令为其应用增添了 DSP 功能，并且其指令结构提供了对高级语言的支持。这使  $\mu'nSP^TM$  家族的应用向适应当今控制系统新的发展要求又迈进了一步。

表 1.2 列出了 16 位单片机产品的简要介绍，目前主要是  $\mu'nSP^TM$  家族；读者由此可对凌阳的 16 位单片机有一个初步的印象。

表 1.2 凌阳的 16 位单片机产品一览

| 系列类型    | IC 型号                  | 用 途                             |
|---------|------------------------|---------------------------------|
| SPCExxx | SPCE500A, SPCE061A     | 主要应用于语音播放和语音识别领域                |
| SPGxxx  | SPG100A                | 主要应用于视频游戏机类产品之微控制器              |
| SPT660x | SPT6601, SPT6602       | 主要应用于通信领域中带 LCD 驱动的来电辨识功能       |
| SPMC903 | 目前处在研发阶段，预计 2002 Q2 完成 | 一般目的之控制器。内含闪存，配合烧录器的使用，适于教学实验用途 |

SPCE 系列的全双工异步通讯的串行接口,可实现多机通信,组成分布式控制系统。A/D、D/A 转换接口可以方便用于各种数据的采集、处理和输出,并为与用户系统友好地交互打下基础。A/D、D/A 转换接口与 $\mu'nSP^{TM}$ 的 DSP 运算功能结合在一起,可实现语音识别功能,使其方便地运用于语音识别应用领域。

SPT660x 系列的双音多频 (DTMF, Dual Tone Multi Frequency) 发生器可实现电话拨号功能;内置的 LCD 控制器/驱动器能实现最多 224 点 (8 COM\*28 SEG) 的显示;内置具有 4~8 级自动增益控制的 ADC 通道及可用于播放乐曲/语音的 DAC 通道;同样,它们与 $\mu'nSP^{TM}$ 的 DSP 运算功能结合在一起,可实现来电辨识和语音拨号之功能。

由此可见, $\mu'nSP^{TM}$ 家族在 DSP 及语音识别应用领域中显得很有特色。

### 1.2.2 $\mu'nSP^{TM}$ 家族印象

$\mu'nSP^{TM}$ 家族适用于 DSP 及语音识别领域中各种不同的用途,见表 1.2 中所列。它们均为高性能价格比、具有扩展结构的 16 位单片机,与同类产品相比较具有以下一些特点:

#### 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,提高了其可靠性和抗干扰能力。另外,模块化的结构易于系列扩展,以适应不同用户的需求。

#### 2. 低功耗、低电压

$\mu'nSP^{TM}$ 家族采用 CMOS 制造工艺,同时增加了软件激发的弱振方式、空闲方式和掉电方式,极大地降低了其功耗。譬如:SPCE500A 掉电方式下的功耗仅为  $2\mu A@5V$ 。

另外, $\mu'nSP^{TM}$ 家族的工作电压范围大,能在低电压供电时正常工作,且能用电池供电。这对于其在野外作业等领域中的应用具有特殊的意义。

#### 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, $\mu'nSP^{TM}$ 的指令系统提供出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,使得 $\mu'nSP^{TM}$ 家族运用在复杂的数字信号处理 (DSP) 方面既很便利又比专用的 DSP 芯片廉价。 $\mu'nSP^{TM}$ 家族片内较强的语音处理功能,使其运用在语音识别类产品时更是得心应手。

#### 4. 具有较强的中断处理能力

$\mu'nSP^{TM}$ 家族的中断系统支持 10 个中断向量及 10 余个中断源,适合实时应用领域。

#### 5. 功能强、效率高的指令系统

$\mu'nSPTM$ 指令系统的指令格式紧凑, 执行迅速; 且指令的集成化, 又大大提高了其代码效率。参见下表中将 FIR 滤波程序中的内积运算用两种单片机实现的比较结果。

表 1.3 用两种单片机实现内积运算的效果比较

| 比较内容              | 用 80C51 XA 实现                                                                                                                                     | 用 SPCE 实现                                                        |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| FIR 滤波程序<br>中内积运算 | <pre> xor r5,r5 xor r6,r6 Mac_Loop:   mov.w r3,[r1+]   mov.w r4,[r2+]   mul.w r3,r4   add r5,r3   addc r6,r4   djnz r0, Mac_Loop           </pre> | <pre> fir_mov on mr= [r1] * [r2], 8 fir_mov off           </pre> |
| 指令容量              | 17 字节                                                                                                                                             | 3 字 (6 字节)                                                       |
| 指令周期              | 257                                                                                                                                               | $3 - (10 * 8 - 8) + 3 = 3 + 88 + 3 = 94$                         |
| 执行时间              | 12.85 $\mu$ s @20MHz                                                                                                                              | 3.82 $\mu$ s @24.576MHz                                          |

为缩短开发产品商品化的时间,  $\mu'nSPTM$ 的指令结构提供出对 C 语言的良好支持。具体反映在:

- $\mu'nSPTM$ 指令中的算逻辑操作符与 ANSI-C 算符非常相似, 见下表中所示内容。

表 1.4  $\mu'nSPTM$ 算逻辑操作符与 ANSI-C 算符之间的联系

| $\mu'nSPTM$ 算逻辑操作符及其作用 | ANSI-C 算符及其作用              |
|------------------------|----------------------------|
| ~, -= 取补, 减            | ~, -= 单目取负, 减              |
| += 加                   | += 加                       |
| * 乘                    | * 乘                        |
| cmp, test 比较、测试操作符     | >, >=, <, <=, ==, != 关系运算符 |
| = 数据传送                 | = 赋值语句                     |
| ^= 逻辑异或                | ^= 逻辑异或                    |
| &= 逻辑与                 | &= 逻辑与                     |
| = 逻辑或                  | = 逻辑或                      |
| LSL, LSR 逻辑左移、逻辑右移     | <<, >> 左移、右移               |

- $\mu'nSPTM$ 支持 ANSI-C 中使用的基本数据类型, 参见下表。

表 1.5  $\mu'nSPTM$ 对 ANSI-C 中基本数据类型的支持

| $\mu'nSPTM$ 汇编语言基本数据类型 | 支持 ANSI-C 中基本数据类型           |
|------------------------|-----------------------------|
| 字型 (DW)                | int, unsigned int           |
| 双字型 (DD)               | long int, unsigned long int |
| 单精度浮点型 (FLOAT)         | 准 float (保证六位有效精度)          |
| 双精度浮点型 (DOUBLE)        | 准 double (保证十二位有效精度)        |



- $\mu'nSP^{TM}$ 的寄存器间接寻址中指针寄存器的自动字增量操作支持 C 语言中数组元素的访问和操作。并且, 类似 ANSI-C 中结构的使用,  $\mu'nSP^{TM}$ 的汇编器提供了定义结构的伪指令。另外, 为便于 $\mu'nSP^{TM}$ 家族产品的开发, 构建出 C 语言编程函数库 (C-lib), 参见《 $\mu'nSP^{TM}$ 单片机》一书中「附录 F」。

### 1.2.3 $\mu'nSP^{TM}$ 家族的设计特点及发展策略

$\mu'nSP^{TM}$ 家族的设计采用的是模块式集成结构, 它以 $\mu'nSP^{TM}$ 内核为中心集成不同规模的 ROM、RAM 和功能丰富的各种外设部件, 如图 1.1 所示。



图 1.1  $\mu'nSP^{TM}$  家族的模块式结构

$\mu'nSP^{TM}$ 内核是一个通用的核结构。除此之外的其它功能模块均为可选结构, 亦即这种结构可大可小或可有可无。借助这种通用结构附加可选结构的积木式的构成, 便可形成各种不同系列派生产品, 以适合不同的应用场合。这样做无疑会使每一种派生产品具有更强的功能和更低的成本。

## 1.3 $\mu'nSP^{TM}$ 家族产品

### 1.3.1 $\mu'nSP^{TM}$ 家族各系列产品的技术性能

1. SPCE500A 的技术性能
  - 工作电压范围: 2.6V~5.5V;
  - 系统工作速率范围: 0.375MHz~24.576MHz;
  - 内置 2K 字的静态 RAM;
  - 内置 ROM 或闪存 ROM 容量: 零页中 32K 字的快速 ROM 和非零页中 256K 字的常速 ROM;
  - 32 位可编程并行 I/O 接口;
  - 通用异步全双工串行接口 UART, 具有 RS-232 标准的发送/接收波形;
  - 单通道 10 位模/数转换 ADC 并具内置自动增益控制的扩音器输入方式;
  - 双通道 10 位数/模转换 DAC 方式的音频输出, 每个通道的输出能力为 3mA;
  - 双 16 位可编程定时器/计数器, 且具有双路 PWM 输出;

- 14 个中断源可来自系统时钟、定时器/计数器、时间基准发生器、外部时钟源输入、触键唤醒以及通用异步串行接口等；
  - 内置 32768 Hz 实时时钟；
  - 锁相环晶体振荡器或 RC 振荡器，为系统提供 20.480 MHz/24.576 MHz 的时钟信号；
  - 掉电方式下的系统运行可将功耗降至  $2\mu\text{A}@5\text{V}$ ；
  - 唤醒运行/睡眠方式下的看门狗维护功能；
  - 低电压复位/低电压监测功能。
2. SPT660x 系列的技术性能
- 工作电压范围：
    - CPU: 2.0V ~ 3.6V；
    - 双音多频(DTMF)接收器/频移键控(FSK)译码器: 2.2V~3.6V/2.6V~5.5V；
  - 系统时钟：
    - 外接 32768Hz 晶体振荡器用于电话拨号及解调；
    - 外接电阻器以形成 RC 振荡器用于 CPU 时钟，频率为 1.0MHz 或 10MHz 的 1、2、4、8 分频；
  - 内置 1K 字的 SRAM 和 16K 字的 ROM；
  - 工作方式：运行方式以及用于节省功耗的睡眠方式（备用方式和暂停方式）；
  - 定时器/计数器：一个 16 位的定时器/计数器和一个 8 位的定时器；
  - 确保系统可靠性的电源管理：
    - 低电压监测功能，具有 8 级电池电压低限的设定；
    - 上电复位功能；
    - 看门狗复位功能，它由 32768Hz 信号分频而来；
    - SRAM 具独立的电源，以存储来电记录；
  - 模拟信号输入前端：
    - 运算放大器对双扭电话线信号进行前端放大；
    - 内置 4 级或 5 级自动增益控制(AGC)；
    - 8 位 A/D 转换,其信号采样率为 8KHz；
  - 拨号器：内置双音多频(DTMF)发生器；
  - 10 个中断/唤醒源(INT / WP):
    - IOC0~1: 边沿触发；
    - 环线/带反转的单线信号检测功能；
    - IOA0~7: 边沿触发；
    - Timer A/Timer B 溢出；
    - T32KHz, T2KHz, T128Hz, T8Hz，它们均由 32768Hz 信号分频而来；
  - LCD 驱动：
    - 最多 224 点显示(8 COM \* 28 SEG)；
    - 1/4 偏流, 1/8 负载；
    - 内置 LCD 电压调整器；
  - 26 位或 29 位并行可编程 I/O 口位；
  - 双音多频(DTMF)发生器和频移键控解调器；

- 提供了 DTMF 发生器及 FSK 解调器的目标代码;
  - 与 Bell 202 和 ITU V.23 FSK 规定兼容;
  - 具 FSK/DTMF 译码器自动选择功能;
  - 单或双 DAC 通道用于乐曲/语音回放功能。
3. SPMC903 的技术性能
- 工作电压范围: 2.6 V~3.6 V;
  - 系统最高工作速率: 24MHz;
  - 内置 2K 字的静态 RAM 和内置 32K 字容量的闪存 ROM;
  - 64 余位可编程并行 I/O 接口;
  - 通用异步全双工串行接口 UART, 具有 RS-232 标准的发送/接收波形;
  - 8 通道 12 位模/数转换 ADC;
  - 3 个 16 位可编程定时器/计数器, 且具有双路 PWM 输出及双路数字式捕获/比较端口;
  - 中断源可来自系统时钟、定时器/计数器、时间基准发生器、外部时钟源输入、触键唤醒以及通用异步串行接口等;
  - 可编程选择晶体振荡器或 RC 振荡器;
  - 可编程设置看门狗维护功能;
  - 可编程设置低电压复位/低电压监测功能;
  - 可编程设置程序代码保护功能;
  - 内置在线仿真板 (ICE, In-Circuit Emulator) 接口;
  - 具有 SPMC903 仿真板及并行通讯接口(主/仆)。

### 1.3.2 SPCE 产品技术概况

由下列表格, 我们可了解到 SPCE 一些技术性能及其应用的一个大致轮廓。

表 1.3 SPCE 系列产品一览

| SPCE 系列<br>技术特性 | SPCE500A                              | SPCE061A                         |
|-----------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 工作电压            | 2.6~5.5V                              | 2.6~3.6V                         |
| 系统工作速率          | 24.576 MHz                            | 49.152 MHz                       |
| CPU 内核          | $\mu^n$ SPTM                          | $\mu^n$ SPTM                     |
| SRAM 容量         | 2K 字                                  | 2K 字                             |
| ROM 容量          | 零页中 32K 字的快速 ROM<br>非零页中 256K 的常速 ROM | 32K 字的闪存                         |
| 并行 I/O A 口      | IOA15-0                               | IOA15-0                          |
| 并行 I/O B 口      | IOB15-0                               | IOB15-0                          |
| ADC             | 单通道 10 位并具内置自动增益控制的扩音器<br>输入方式        | 8 通道 10 位并具内置自动增益控制的扩音器<br>器输入通道 |

续表 1.3

| SPCE 系列<br>技术特性 | SPCE500A                                | SPCE061A                                |
|-----------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 音频输出方式          | DAC x 2                                 | DAC x 2                                 |
| 中断源             | 定时器 A/B<br>时基发生器<br>外部时钟源<br>IOA7~0 键输入 | 定时器 A/B<br>时基发生器<br>外部时钟源<br>IOA7~0 键输入 |
| 唤醒源             | IOA7~0 键输入<br>其它中断源                     | IOA7~0 键输入<br>其它中断源                     |
| 定时器/计数器         | 双 16 位定时器/计数器                           | 双 16 位定时器/计数器                           |
| 通用异步串口          | 具备                                      | 具备                                      |
| 串行 SRAM 接口      | 无                                       | 具备                                      |
| 晶振/RC 振荡器       | 通过屏蔽任选选择                                | 通过屏蔽任选选择                                |
| 低电压复位           | 通过屏蔽任选设置或取消                             | 通过屏蔽任选设置或取消                             |
| 低电压监测           | 通过屏蔽任选设置或取消                             | 通过屏蔽任选设置或取消                             |
| 看门狗             | 通过屏蔽任选设置或取消                             | 通过屏蔽任选设置或取消                             |
| 内置 ICE 接口       | 无                                       | 具备                                      |

以上我们对凌阳的 8 位和 16 位两类单片机系列产品进行了概要性的介绍,并着重对凌阳的 16 位  $\mu'nSP^{\text{TM}}$  系列产品的技术性能、特点及其发展策略进行了阐述,目的在于使读者对  $\mu'nSP^{\text{TM}}$  家族产品的应用有一个初步的认识。

### 1.3.3 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 家族产品的应用领域

$\mu'nSP^{\text{TM}}$  家族产品主要可以应用在以下几个方面:

- 数字信号处理
- 开发研制便携式移动终端
- 开发嵌入式计算机应用系统

$\mu'nSP^{\text{TM}}$  的特点决定其能很好地胜任于从简单到复杂的嵌入计算机系统,具体可在如下一些领域里进行开发:

- 工业控制
  - ☐ 智能化仪器仪表、示波器
  - ☐ 汽车控制(防撞系统、减震系统、静噪系统、燃油喷射系统、通信与音响等)
  - ☐ 机器人控制
- 消费、娱乐
  - ☐ 数字机顶盒

- ☐ 游戏机、智能玩具、学习机
- ☐ 家用电器

■ 通信

- ☐ 来电显示电话
- ☐ 数字留言机
- ☐ 数字语音信箱
- ☐ 数字免提电话

下面章节将引导读者进一步了解其家族的硬件结构及指令系统，以获取对 $\mu'nSP^TM$ 家族的较为深刻的印象。

## 第二章 $\mu'nSP^{TM}$ 基本结构简介

$\mu'nSP^{TM}$ 的基本结构是内核附加其它功能模块形成的。本章将阐明 $\mu'nSP^{TM}$ 的内核、片内存储器结构,并对片内其它模块的结构着重在原理上加以阐述。最后,给出 $\mu'nSP^{TM}$ 系列产品的一些具体结构。

### 2.1 $\mu'nSP^{TM}$ 的内核结构

$\mu'nSP^{TM}$ 的内核基本是由总线、算逻运算单元、寄存器组、中断系统及堆栈等部分组成,参见下图。

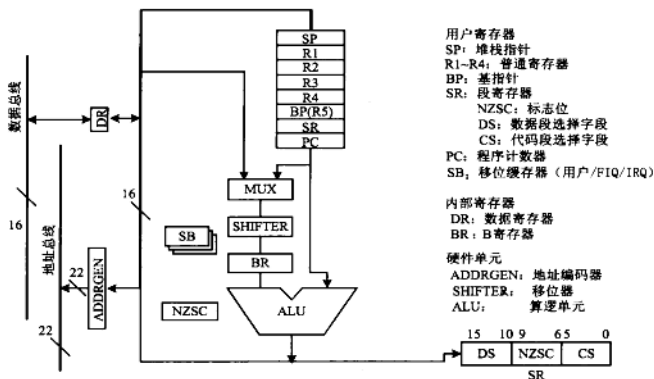


图 2.1  $\mu'nSP^{TM}$ 的内核结构

#### 2.1.1 数据总线和地址总线

$\mu'nSP^{TM}$ 具有 16 位数据线和 22 位地址线,由此决定其基本数据类型是 16 位的“字”型; 22 位地址线 A0~A21 最多可寻访 4M 字的存储容量,以获取指令代码和指令数据。地址线中的高 6 位 A16~A21 称为存储器地址的页码,它来自段寄存器 SR 中的 6 位代码段 (CS; Code Segment) 和 6 位数据段 (DS; Data Segment) 选择字段,亦即页码的检索通过对段 (Segment) 的编码实现。地址线中的低 16 位 A0~A15 称为存储器地址的偏移量 (Offset),它来自其它一些寄存器。 $\mu'nSP^{TM}$ 通过 Segment 与 Offset 组合产生 22 位地址线,如上图内 ADDRGEN 所示。

## 2.1.2 算逻运算单元 ALU

$\mu'nSP^{TM}$  的 ALU 可做 16 位基本的算逻运算、带移位操作的 16 位算逻运算以及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 位算逻运算

表 2.1 列出了  $\mu'nSP^{TM}$  的 16 位算逻运算及数据传送操作内容。

表 2.1  $\mu'nSP^{TM}$  的算逻运算及数据传送

| ALU 操作码 | 操作符号  | 操作功能描述 | 操作类型         |
|---------|-------|--------|--------------|
| 0000    | ADD   | 加      | $A+B$        |
| 0001    | ADC   | 带进位加   | $A+B+C$      |
| 0010    | SUB   | 减      | $A+\sim B+1$ |
| 0011    | SBC   | 带进位减   | $A+\sim B-C$ |
| 0100    | CMP   | 比较     | $A+\sim B+1$ |
| 0110    | NEG   | 取补     | $\sim B+1$   |
| 1000    | NOR   | 异或     | $A \wedge B$ |
| 1001    | LOAD  | 写入     | $A=B$        |
| 1010    | OR    | 或      | $A \vee B$   |
| 1011    | AND   | 与      | $A \& B$     |
| 1100    | TEST  | 测试     | 测试 A, B      |
| 1101    | STORE | 读出     | $B=A$        |

### 2. 带移位操作的 16 位算逻运算

$\mu'nSP^{TM}$  的 ALU 可将要进行算逻运算的操作数先由移位器进行各种移位处理，其中包括：算术右移、逻辑左移、逻辑右移、循环左移以及循环右移；然后再做算逻运算。因此， $\mu'nSP^{TM}$  的指令系统里专有一组复合式的「移位算逻操作」指令。

### 3. 16 位 $\times$ 16 位的乘法运算和内积运算

$\mu'nSP^{TM}$  的指令系统还提供出速度较高的 16 位  $\times$  16 位的乘法运算指令 Mul 和内积运算指令 Muls。Mul 指令只需花费 12 个时钟周期。Muls 指令花费  $10n+8$  个时钟周期，其中  $n$  为乘积求和的项数。这两条指令为  $\mu'nSP^{TM}$  应用于复杂的数字信号处理运算方面提供了方便有利的条件。

## 2.1.3 寄存器组

1.  $\mu'nSP^{TM}$  的 CPU 寄存器组里有 8 个 16 位的寄存器，表 2.2 摘要了各个寄存器的符号名称；寄存器的功能与用法将在表后说明。

表 2.2 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     | 用户寄存器 R1 |
| 2 (010)  | R2     | 用户寄存器 R2 |
| 3 (011)  | R3     | 用户寄存器 R3 |
| 4 (100)  | R4     | 用户寄存器 R4 |
| 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  |

用户寄存器 R1~R4，通常可分别用于数据运算或传送的源及目标寄存器。而 R4、R3 还可组成一个 32 位的乘法结果寄存器 MR，用于存放乘法运算和内积运算之结果。

堆栈指针寄存器 SP (Stack Pointer) 的值是在 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) 或增加的 (弹栈)，以示堆栈指针的移动。

基址指针寄存器 BP (Base Pointer) 则可用来帮助存取堆栈中的数据。 $\mu'nSP^{\text{TM}}$  提供了变址寻址方式 [BP+IM6]，通过它可直接存取堆栈中存放的各种数据。此外，BP 也可用于一般用途的用户寄存器 R5，当作数据传送或运算的源及目标寄存器。

段寄存器 SR 中的代码段选择字段 (CS) 和数据段选择字段 (DS) 可分别与其它 16 位的寄存器合在一起形成 22 位地址线，用来寻址 4M 字容量的存储器。另外，算逻运算结果的各标志位 NZSC 亦存于其中的 B6~B9 位，它们均会作为 CPU 执行条件/无条件短跳转指令 (JUMP) 时控制程序流向的状态位。标志位内容可见下表。

表 2.3 SR 中各标志位及其含义

| SR 中各标志位 (B6~B9) | 标志位的含义表述                                                                                                                            |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 进位标志 C (B6)      | C=0，表示运算过程中无进位或借位产生；C=1，表示运算过程中有进位或借位产生。在 16 位无符号数运算中，若运算结果大于 0xFFFF，即 65535，则 C 被置 1。                                              |
| 符号标志 S (B7)      | S=0，表示运算结果不为负；S=1，表示运算结果为负。对于 16 位有符号数运算，数值范围为 0x8000~0x7FFF，即 -32768~32767。若运算结果小于零，则 S 被置 1。                                      |
| 零标志 Z (B8)       | Z=0，表示运算结果不为 0；Z=1，表示运算结果为 0。                                                                                                       |
| 负标志 N (B9)       | N=0，表示运算结果的最高有效位为 0；N=1，表示运算结果的最高有效位为 1。16 位有符号数的运算结果可能会大于 0x7FFF 或小于 0x8000，即有产生溢出的可能。若标志位 N 和 S 不同 (S=0, N=1 或 S=1, N=0)，说明有溢出发生。 |

程序计数器 PC (Program Counter) 是用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 值累加当前指令所要占据的字数，以指向下一条指令的地址。



址。在 $\mu'nSP^{\text{TM}}$ 里, 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。运算操作过程中, 若目标寄存器是 PC, 则所有标志位均不会受到影响。

以上所述寄存器均是编程者可以直接存取的。而图 2.1 中显示出三层的移位缓存器 SB (Shifter Buffer) 是无法直接通过指令取用的。SB 是专用于移位操作或乘法操作时的移位缓存单元。操作后, 这些缓存单元的值都是不固定的, 因此读其结果没有任何意义。

### 2.1.4 堆栈

#### 1. 堆栈的结构

$\mu'nSP^{\text{TM}}$  的堆栈遵循后进先出的原则, 最大容量范围限制在 64K 字的 RAM (0x000000~0x00FFFF) 内, 其结构如图 2.2 所示。

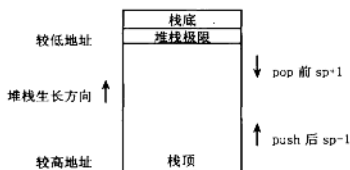


图 2.2  $\mu'nSP^{\text{TM}}$  的堆栈

#### 2. 压栈与弹栈

压栈 (push) 操作如图 2.3 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。

弹栈 (pop) 操作前 SP 总是指向栈底的第一个空项, 如图 2.4 所示。故在弹栈拷贝数据之前 SP 要加 1, 然后依次弹出拷贝的数据置入寄存器。

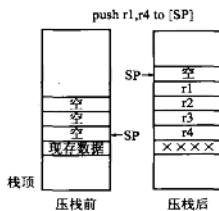


图 2.3 压栈操作

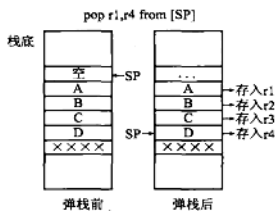


图 2.4 弹栈操作

### 2.1.5 中断