

MSP(MSP430/432)系列 单片机设计进阶与工程实践

魏小龙 丁京柱 崔萌 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



中国大学计划教材

MSP430 系列教材

MSP (MSP430/432) 系列 单片机设计进阶与工程实践

魏小龙 丁京柱 崔 萌 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书从应用的角度,对 MSP 系列单片机(包含 MSP430 以及最新的 MSP432)进行了较为全面的介绍。通过几十个贯穿全书的有趣实践案例为读者提供了轻松的阅读氛围,众多 MSP 内部模块的讲解与应用融入了一个个的实验中。全书共 5 章,内容包括:单片机概论、MSP 软硬件开发环境与 C 语言基础、MSP 以及片内基础外设、MSP 综合应用实践、基于 MSP 的系统设计应用实践。

本书可作为嵌入式系统初学者、高等院校电类专业学生的参考书,也可作为电子设计人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

MSP(MSP430/432)系列单片机设计进阶与工程实践 /
魏小龙,丁京柱,崔萌编著. -- 北京:北京航空航天大学
大学出版社,2017.11

ISBN 978-7-5124-2585-9

I. ①M… II. ①魏… ②丁… ③崔… III. ①单片微
型计算机—系统设计 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 268971 号

版权所有,侵权必究。

MSP(MSP430/432)系列单片机设计进阶与工程实践

魏小龙 丁京柱 崔 萌 编著

责任编辑 孙兴芳

*

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(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@buaacm.com.cn 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:23 字数:490 千字

2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-2585-9 定价:59.00 元

序 一

美国德州仪器(简称 TI)公司的 MSP 产品线作为最早面向混合信号处理领域的超低功耗单片机,自 20 世纪 90 年代初问世以来,取得了巨大的成功。最近几年 MSP 需求稳定持续增长,用户群不断扩大,产品不断推陈出新,MSP 系列已逐渐成为单片机领域的主流系列。MSP 系列单片机围绕着低功耗、模拟和数字外设的高度集成、平台可扩展等核心价值,打造了一个特别适合传感和测量应用的单片机平台,形成了一个独具特色的单片机家族。在实际的工程实践中,充分利用 MSP 系列单片机的超低功耗特点,以及丰富且极具特色的外设,可以设计出许多有特色的应用产品。

多年来,广大的 MSP 单片机用户和有兴趣了解 MSP 单片机的工程师都希望有一本实用的、能够将 MSP 单片机的特色和工程实践结合在一起的工具书,为他们相关的工程实践提供进一步的指导。而本书正是从应用的角度,对 MSP 系列单片机进行了较为全面的介绍。其不仅涵盖了 MSP 的特点、CPU 与基础外设和软硬件环境,而且结合作者多年的工程实践经验提供了几十个有趣的实践案例,内容丰富详实、实用性强;不仅对想进一步深入了解 MSP 单片机的用户提供了全面深入的介绍和实际应用分享,而且对 MSP 入门用户也提供了深入浅出的产品介绍和相关实践案例,实为一本不可多得的好书。如果您致力于 MSP 单片机的开发和学习,那么该书一定对您进入精彩纷呈的 MSP 应用天地大有益处。

刁 勇

MSP 微控制器业务发展经理 德州仪器

2017 年 5 月

序 二

德州仪器的 MSP 系列超低功耗单片机自问世以来一直深受广大工程师及高校师生的喜爱。其产品越来越丰富,同时兼顾技术发展趋势的创新外设极大地方便了产品设计,尤其是最新推出的 MSP432 系列高性能低功耗处理器,更是让 MSP 家族如虎添翼。

作者结合自身多年在 MSP 上的实践经验,历时一年编写了本书,力求通过本书让读者对 MSP 系列单片机有更为全面的了解和认识,同时对广大单片机爱好者甚至工程师在 MSP 学习和实践应用中给予一定的帮助。本书的作者之一魏小龙老师有着丰厚的实践教学经验,同时也可以说是国内第一批使用 MSP430 进行教学实践的高校教师之一。在相关内容及实践案例的介绍中,魏小龙老师深入浅出,总结多个实践案例,为读者提供了轻松的阅读氛围,并且引入了摇摇棒及智能小车作为实验环节的题材,简单生动。本书的另一位作者丁京柱,就职于德州仪器公司,曾任系统应用工程师,是资深 MSP 技术应用支持,有着多年产品定义、研发以及客户现场支持的丰富经验,因此读者能够在书中看到工程应用中可能碰到的实际问题,并且可以了解到如何用工程思维来解决这些问题。崔萌工程师,就职于德州仪器公司大学计划部,有着多年支持 MSP 大学教学的工作经验,尤其对学生的需求有着非常深入的了解,因此书中很多细节设计都是本着学生学习 MSP 的需求出发的。

技术的发展日新月异,我们希望通过本书能够让读者了解最新的技术(当然,通过访问 <http://www.ti.com.cn> 可以更加实时地了解德州仪器公司推出的最新技术产品),了解微控制器技术的发展历史,展望其发展的未来趋势。同时,通过本书能够让读者感受到工程思维培养的重要性,以及好的工程习惯对于一名工程师的重要性,这也是本书作者希望能够传达给读者的信息。

夏树荣

MSP430 产品线经理 德州仪器

2017 年 5 月

前 言

德州仪器公司的 MSP430 系列单片机逐渐发展衍生为 MSP 系列单片机,其包含两大系列,即 MSP430 与 MSP432。前者是德州仪器公司经典的自有内核 16 位低功耗单片机,后者是近年研发的基于 ARM 内核 32 位低功耗单片机。尽管它们的内核不同,但它们均是基于相同的设计理念,所以德州仪器公司仍将这两者都归类到超低功耗单片机系列。这两者有相同的时钟、外设以及集成开发环境等,比如定时器、通信模块,德州仪器公司让开发者对两者的体验保持一致。

本书内容采用实验的方式展开讲解,全书由若干个具体的实验构成,由浅入深、循序渐进,主要内容如下:

第 1 章主要介绍单片机相关知识以及 MSP 单片机;

第 2 章主要介绍与单片机相关的软硬件,特别是德州仪器公司出品的特色软件,比如 MSPWare、Energia、CCS Cloud 等;

第 3 章主要介绍 MSP 基础单元:CPU、LCD、端口、定时器、ADC 等;

第 4 章通过一些趣味应用进一步讲解系统设计;

第 5 章主要介绍与系统可靠性相关的知识。

本书引用资料主要来自芯片手册、芯片用户向导等,在讲述的过程中,所引用的资料大部分未做翻译,为的是让读者感受原文资料,培养阅读英文资料的习惯,而且还给出了相关出处,以便读者进一步查阅。

本书的 3 位作者分别是南京航空航天大学的魏小龙,德州仪器公司的科技委员会委员、现任培训部经理的丁京柱,德州仪器公司大学计划部的崔萌。崔萌编写了与 MSP 相关的众多软件与硬件实验板介绍部分;丁京柱编写了与系统可靠性等相关的部分;魏小龙编写了本书的大部分内容,并将自己多年从教学中总结的实践经验写入本书。

感谢德州仪器公司的夏树荣经理、刁勇经理与卢鹏升工程师,德州仪器公司大学计划部的王成宁、潘亚涛与王沁,以及北京航空航天大学出版社对本书创作的支持与帮助。

前 言

本书可作为嵌入式系统初学者、高等院校电类专业学生的参考书,也可作为电子设计人员的参考书。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏之处,真诚欢迎广大读者及同行提出宝贵意见和建议。

编 者

2017年5月

目 录

第 1 章 单片机概论	1
1.1 单片机的应用	2
1.2 MSP 单片机内部有什么	3
1.3 MSP 系列单片机概述	9
1.4 MSP432 与 MSP430 的技术对比	14
1.4.1 系统级参数对比	14
1.4.2 CPU 和内核	14
1.4.3 电源设计	15
1.4.4 复位电路	16
1.4.5 低功耗系统	16
1.4.6 时钟系统	17
1.4.7 外 设	17
第 2 章 MSP 软硬件开发环境与 C 语言基础	19
2.1 TI 的 MSP 软硬件开发环境	19
2.1.1 Launchpad 最小系统板	20
2.1.2 BoosterPack 接口	22
2.1.3 使用 Launchpad 与 BoosterPack 开发	24
2.1.4 多种软件开发工具支持	25
2.1.5 MSP432 Launchpad 开箱实验	36
2.2 笔者设计的硬件环境	38
2.2.1 摇摇棒硬件平台及可实现的实验项目	39
2.2.2 小车硬件平台及可实现的实验项目	43
2.2.3 四旋翼小飞机设计	49
2.3 软件开发环境 IAR EW430 V6.3	49
2.3.1 IAR EW430 V6.3 的下载和安装	49
2.3.2 利用 IAR EW430 V6.3 新建工程	52
2.3.3 利用 IAR EW430 V6.3 调试工程	55

2.4	使用 CCS 以及 MSPWare 进行 MSP 系列的开发与调试	60
2.4.1	TI Resource Explorer 及 MSPWare	61
2.4.2	使用 MSPWare 中的参考例程	63
2.4.3	函数驱动库	64
2.4.4	使用 CCS 进行程序调试	66
2.5	C 语言程序设计基础	69
2.5.1	MSP C 语言的常用数据类型	69
2.5.2	表达式语句(结构)	70
2.5.3	函数的定义与调用	73
2.5.4	MSP430 C 语言标准库函数	75
第 3 章	MSP 以及片内基础外设	80
3.1	MSP 系列芯片的 CPU	80
3.1.1	CPU 的结构	81
3.1.2	MSP 寻址方式	86
3.1.3	指令系统	88
3.1.4	MSP 的 CPU 体会	91
3.2	MSP 液晶驱动模块	93
3.2.1	驱动液晶的 MUX 电路	100
3.2.2	时序控制电路和液晶电压发生电路	101
3.2.3	液晶缓存电路	104
3.2.4	液晶模块寄存器	110
3.3	MSP 输入/输出端口	123
3.3.1	MSP 系列单片机各种端口简介	124
3.3.2	端口输出举例 1——LED 应用	129
3.3.3	端口输出举例 2——音频应用	139
3.3.4	端口输入应用	143
3.3.5	端口中断与 MCU 程序的执行细节剖析	148
3.3.6	MSP 单片机端口其他功能的应用	168
3.3.7	课外实践	171
3.4	定时器	172
3.4.1	看门狗定时器	172
3.4.2	基本定时器 Basic Timer1	177
3.4.3	16 位定时器 A	179
3.4.4	定时器 Timer_A 的应用	194
3.5	MSP 模/数转换模块	206

3.5.1	ADC10 模/数转换模块	206
3.5.2	ADC10 应用举例	225
第 4 章	MSP 综合应用实践	236
4.1	基于 MSP432P401R Launchpad 的炫彩灯设计	236
4.2	LED 摇摇棒设计	241
4.2.1	8 点字符型摇摇棒设计	241
4.2.2	16 点字符型摇摇棒设计	243
4.2.3	为摇摇棒加入电容触摸按钮	246
4.3	汽车雷达设计	248
4.3.1	ADC12 的原理与应用	249
4.3.2	使用 ADC12 得到雷达基本数据	256
4.3.3	点阵液晶显示器驱动	259
4.3.4	小车雷达显示	266
4.3.5	小车雷达声音提示	270
4.3.6	抗干扰小车雷达设计	270
4.4	自循迹小车设计	272
4.4.1	基本跑道识别	272
4.4.2	车轮驱动设计	274
4.4.3	车灯设计	283
4.4.4	循迹算法设计	286
4.4.5	小车行车电脑设计	289
4.4.6	自动循迹小车的实现	289
4.4.7	小车对抗游戏设计	291
4.4.8	走迷宫小车设计	291
4.4.9	遥控小车设计	292
4.5	恒温设计	308
4.5.1	硬件设计	309
4.5.2	I ² C 与 TMP275 温度测量	311
4.5.3	温度值以及曲线显示	320
4.5.4	温度控制算法设计	324
4.6	简易电子秤设计	324
4.7	血压与心率检测设计	331
4.7.1	硬件设计	333
4.7.2	软件设计	335

第 5 章 基于 MSP 的系统设计应用实践	336
5.1 MSP 系统电源设计	336
5.1.1 电源基础	336
5.1.2 设计 MSP 供电系统	340
5.1.3 超低功耗单电池供电 LED 照明系统设计	345
5.2 MSP 低功耗系统的抗干扰以及可靠性设计	348
5.2.1 低频振荡器系统简介	348
5.2.2 振荡电路的设计技巧	349
5.2.3 振荡器软件设计的相关技巧	351
参考文献	353

第 1 章

单片机概论

实验 1-1 闪烁灯的实现

在 Launchpad(TI 公司出品的开发板)上都有发光二极管,一般连接在 P1.0 上。编写如下程序,可让发光二极管闪烁起来。

```
#include <msp430.h>
void main(void)
{
    int i;
    WDTCTL = WDTHOLD + WDTPW;           //关闭看门狗
    P1DIR = BIT0;                       //设置 P1.0 为输出
    while(1)
    {
        P1OUT ^= BIT0;                 //对 P1.0 输出置反
        for(i=0;i<30000;i++);         //延时
    }
}
```

如果学习过 C 语言,那么就能读懂上面的语句。其中,WDTCTL(看门狗控制寄存器)、WDTHOLD、WDTPW(看门狗控制寄存器中的位,暂不管)、P1OUT(P1 口输出寄存器)、P1DIR(P1 口方向寄存器)为编译环境预先定义好的变量,用于单片机内部寄存器的定义(后面将会讲到),将上面的程序写入芯片并运行,可以看到发光二极管在闪烁。

下面来分析上段程序。

语句“#include <msp430.h>”为 C 语言中的头文件,其定义了一些 MSP430 相关寄存器,后面的语句就使用了在这个文件中定义的符号(保留字),比如 P1DIR 等。

语句“WDTCTL = WDTHOLD + WDTPW”为主程序中的第一条语句,关闭看门狗。因为 MSP430 单片机中都有看门狗,默认为开启,不用则关闭。

语句“P1DIR = BIT0”设置端口 P1.0(端口 1 的第 0 位)为输出。

语句“while(1)”为死循环,也是程序的最后一条语句。可能读者会问:“C 语言

里怎么可以有死循环呢?”下面将分析该循环体中的两种语句:

- 语句“P1OUT ^= BIT0”表示将 P1.0 的输出改为与原来的相反。
- 语句“for(i=0;i<30000;i++)”是一个 for 循环,循环次数为 30 000 次。循环体为语句“;”(空语句)。其目的是通过让 MCU 执行 30 000 次什么也不做的循环来花费 MCU 一定的时间,实质上就是做一个延时(即循环所花费的时间)。

现在“while(1)”死循环语句的意图就很明显了:反复做“P1.0 输出求反,延时”这一件事。而在 P1.0 上连接了一只发光二极管,所以发光二极管也跟着 P1.0 不断“求反,延时”。当 P1.0 输出 1(高)时,发光二极管亮,延时一会儿;当 P1.0 输出 0(低)时,发光二极管不亮,再延时一会儿。延时的目的是使人眼能够看清楚发光二极管亮灭的变化。最后的效果就是发光二极管闪烁,这样闪烁灯就做好了。

课堂练习实验 1

请读者稍微更改上述程序,使得发光二极管的闪烁速度变为原来的 1/2。

课堂练习实验 2

请读者稍微更改上述程序,使得发光二极管亮的时间是熄灭时间的 2 倍。

实验 1-1 是使发光二极管闪烁,试想:如果 P1.0 不连接发光二极管,而是连接一台电动机的开关控制信号,而这台电动机又拖动电梯的轿箱,那么,当 P1.0 输出高电平时,电动机转动拖动轿箱上升或下降;当 P1.0 输出低电平时,电动机不转动,轿箱停止运动。如果 P1.0 用于控制洗衣机的电动机,则可以控制洗衣机的脱水或洗涤等操作。同理,P1.0 还可以控制其他的设备。

1.1 单片机的应用

计算机应用很广,大家都知道计算机内部有个叫作 CPU 的处理器。买计算机时销售员会问:“你要 Intel 的 CPU,还是要 ADM 的 CPU?”也就是说,计算机里的 CPU 要么用 Intel 的,要么用 ADM 的。大家在进行判断、权衡后,挑选好 CPU 以及相关设备,就可以将计算机搬回家了,可以上网、编程、学习软件等。

其实,计算机除了有个昂贵的 CPU 外,还有很多由单片机构成的其他设备,比如键盘、鼠标、光驱、硬盘、显示器等。那么什么是单片机呢?笔者认为:单片机也叫微控制器、微处理器(MCU),单片机就是单片计算机,一个芯片就是一台计算机。

看似买了一台计算机,实质上却买了很多台“计算机”。这么多台“计算机”都在哪里呢?除了一个大的 CPU 外,还顺便买了很多小的单片机。

例如键盘,由外观看,整个键盘由两部分组成:一部分是键盘上的很多按键,另一部分是一条连接主机的线。但是,如果打开它就会发现,里面还有芯片——单片机,如图 1.1 所示。按键的下面有很多线(塑料片上,由导电胶画成),这些线都连接到芯片上。按键后,通过纵横交错的线的连接情况告诉相应的芯片(或者叫单片机),

单片机通过处理、判断,就会知道按下了哪个按键,然后给该键一个编码,再通过连接主机的那条线将这个编码送达主机:告知哪个按键被按下了。由此可见,键盘里面真的有一台“单片计算机”。

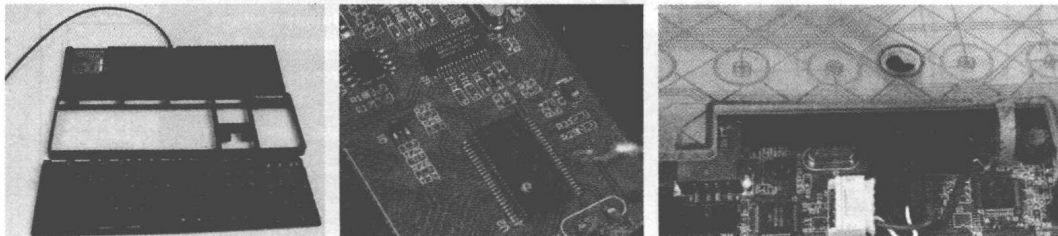


图 1.1 键盘以及键盘内部电路

单片机种类繁多,几乎国际上大的半导体供应商都在开发、研究、生产、销售单片机,比如德州仪器公司(TI,简称德州仪器)就生产 8 位的 51 系列(MSC12xx 系列)、16 位或 32 位的 MSP 系列(目前型号已经发展到 550 个左右)、32 位的 TMS470 系列、DSP 内核的 28xx 系列,还有基于 ARM 系列的单片机。另外,还有意法半导体(ST)、爱特梅尔(ATMEL)、微芯(MICROCHIP)、FREESCALE、飞利浦以及中国台湾地区的很多单片机厂家(华邦等)。单片机的应用非常广泛,随处可见。

另外,我们的日常生活也离不开单片机,现在大部分的家用电器中都有单片机(所谓的智能家电),比如,微波炉(机械的除外)、电磁炉、智能电饭锅、消毒碗柜、电冰箱、洗衣机、电视机、空调等;又如,公交车刷卡机、公交车语音报站器、交通灯(有的是一台计算机(工业控制计算机),有的是单片机)、交通信息提示牌等;到了银行,有排队信息显示屏、外汇报价牌(也有很多直接用一台 PC 控制)等;乘坐的汽车,一般的汽车里都有几十颗单片机在协同工作;到了单位,考勤打卡机里有单片机;到了食堂,刷卡消费终端里有单片机;现在时尚的手环、智能手表、电动牙刷……总之,单片机是我们随手“摸得着”的、与我们的现代生活息息相关的东西,我们离不开。

本书将讲述德州仪器的 MSP 单片机原理、应用、设计等,同时会引导大家做很多有趣的实验。下面将简单举例说明 MSP 单片机的内部结构。

1.2 MSP 单片机内部有什么

MSP430F6xx 是资源较多的系列,这些芯片里面究竟有什么呢?图 1.2 所示是 MSP430F6xx 的内部结构示意图(源自 TI 网站资料),由图可以看出,该系列芯片内部资源非常丰富。图 1.3 所示为 MSP430F67xx 的内部结构。图 1.4 所示为 MSP432P401R/M 的内部结构。

下面以 MSP430F6779A 为例,与通常意义的计算机进行比较,看看单片机为何就是一台计算机,计算机中有的 MSP 是不是单片机中也有。

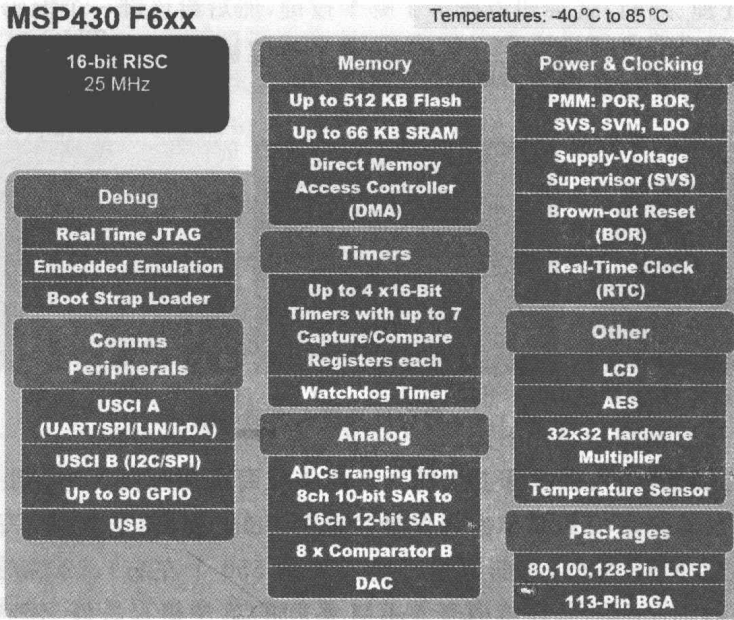


图 1.2 MSP430F6xx 的内部结构示意图

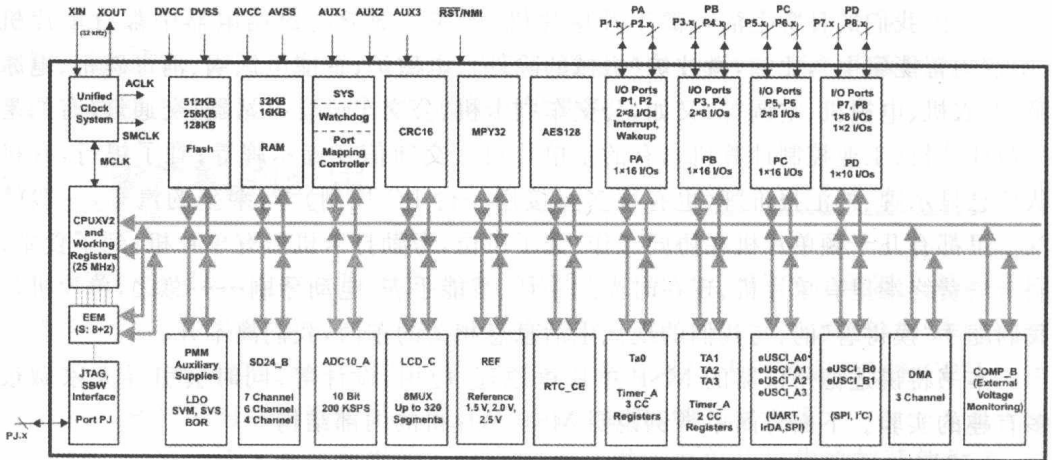


图 1.3 MSP430F67xx 的内部结构 (摘自 MSP430F6779A datasheet 第 64 页)

图 1.3 中最左边的“CPUXV2”、图 1.2 中左上方框内部的“16-bit RISC”、图 1.4 中的“ARM Cortex-M4F”就是我们常说的计算机中的 CPU，可以看出，CPU 只是单片机的一部分，单片机除了拥有核心的 CPU 部件外，还有非常多的其他部件。

图 1.3 中的“Clock System”是时钟系统。在购买计算机时，销售商会说 CPU 的频率是多少 GHz，而该模块就是为 MSP430F6779A 提供时钟的；图 1.4 中的 CS 模块是为 MSP432 提供时钟信号的。时钟系统相当于计算机中常说的计算机速度。

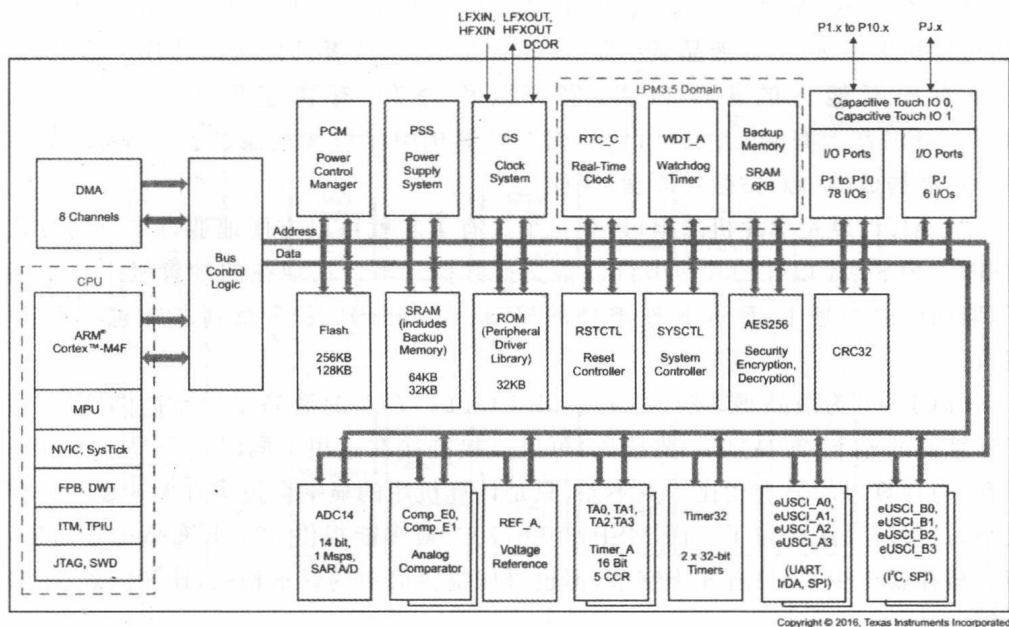


图 1.4 MSP432P401R/M 的内部结构 (摘自 slas826e. pdf 第 3 页)

当然单片机的速度不快,比如,当下计算机大致可以运行在 3 GHz,而这里的单片机 MSP432 最快可到 48 MHz,MSP430 目前最快可到 25 MHz。尽管单片机比计算机慢很多,但实质上还是慢的,后面有专门的实验供读者体会。

图 1.3 中 512 KB 的 Flash 就是硬盘。当然,这个容量大小不能与计算机的硬盘相比,计算机的硬盘动辄就是 320 GB、500 GB、1 TB,而 MSP430F6779A 只有 512 KB。但是对于单片机而言,这已经非常多了。在实验 1-1 中,程序代码估计只有十几个字节。而在图 1.4 所示的 MSP432P401R/M 除了拥有 Flash 外,系统还提供了 ROM(已经固化的程序代码),该 ROM 固化了常用外围模块的相关代码,为程序设计提供方便。

32 KB 的 RAM 是该单片机的内存,这个数据与计算机的内存是没法比的,现在一台计算机的内存就有 4 GB、8 GB、16 GB。MSP430F6779A 最多也只有 32 KB 内存,当然对单片机而言这已经非常多了。试想实验 1-1 中的程序,只使用了一个变量,就是 for 语句中的循环次数变量,只需要使用 1 字节或几个字节,因此 32 KB 的内存对于我们的需要来说还是太多了。

紧接着是一个 200 kHz 的 10 位高速数据采集模块 ADC10_A 以及多达 7 通道的 24 位数据采集模块 SD24_B,这个相当于计算机中的“数据采集卡”。计算机中一块昂贵的板卡在这里就是芯片内部的一个功能部件,通过这个部件可以将单片机外部的模拟量转换为数字量供单片机运算、处理。而 MSP432 中的数据采集模块为 14 位的、采样速度高达 1 MHz 的 ADC14。

“I/O Ports”即为 I/O(输入/输出)口,相当于计算机的输入/输出,通过 I/O 口线,可以扩展键盘、图形液晶显示器、数码管显示器,或者其他接口芯片。其中,还有 16 条有中断能力的 I/O 口线,也可以称之为“有快速反应能力”的口线。MSP430F6779A 有 90 条 I/O 口线,而在计算机中该口线是通过若干 8255 或 8155 芯片扩展构成的(源自“微机原理”课程)。

“UART”就是单片机的串口,有 4 个。有了它就可以方便地通过串行的方式与 MSP430F6779A 以外的其他串行设备交换数据。串口在现在的计算机中已经消失了,取而代之的是 USB 等其他类型的接口;而 MSP430F55 系列芯片也拥有 USB 接口。

“LCD_C”为液晶驱动器,主要为 MSP430F6779A 的液晶显示器提供接口,相当于计算机的显卡,液晶显示器(段码)可以直接挂接在这里。同时这个显卡内部还有显存,与计算机的显卡相比一点不差,只是计算机用的显卡会追求存取速度与显存的大小,这里就没法比较了。而 MSP430F6779A 最多能提供 320 个液晶符号的显示,当然显存就更少了,只有几十字节,但也可以提供简单的显示特效,比如闪烁、亮暗调节等。

“Watchdog”俗称看门狗,这个在计算机里不多见。但是,这个模块在单片机系统中的作用很大,可以在单片机程序跑飞、死机之后让单片机重新启动,在单片机系统安全方面有重要作用。而单片机死机之后,使用者只能拔电源或按复位键。

“Timer_A”为 MSP430F6779A 内部功能强大的定时器模块,作用相当于“8253”(源自“微机原理”课程)。定时器可以为设计者提供灵活的时间信息、时序控制等。

“RTC_CE”相当于计算机的日历时钟,能够进行年、月、日、时、分、秒的推算,以及闰年、闰月、月大、月小的推算,可以像计算机一样用后备电池一直工作。

“DMA”相当于在“微机原理”中讲述的“8237”芯片。

而“CRC16”“MPY32”“AES128”“COMP_B”“JTAG/SBW”等则想不出在计算机中用什么来比拟。MPY32 相当于老式计算机中的协处理器,用于数学运算;AES128 是加密算法的硬件执行单元;CRC16 是 CRC 校验的硬件计算单元;COMP_B 是模拟比较器,用于模拟电压的比较,可以形象地将其看作是跷跷板,两头分别是模拟电压,哪头的电压低,哪头将被翘起来;JTAG/SBW 是用于调试单片机的通道,可通过其方便地探究单片机的内部情况。

MSP430F6 系列片内资源很多,而 MSP430G 系列片内资源相对较少,对初学者来说相对简单一些(其实质都一样)。图 1.5 所示是 MSP430G2553 的功能框图,与 MSP430F6 系列相比缺少了不少资源,但依旧是一个完整的单片机系统:处理器 CPU、时钟、程序存储器、数据存储器、输入/输出、模/数转换器、串口通信部件、定时器、看门狗、调试仿真等一个都不少。同时,器件引脚也少了很多。将 MSP430F6 系列的引脚与 MSP430G 系列的引脚做个对比:图 1.6 所示为 MSP430G2553 的引脚图,图 1.7 所示为 MSP430F6779 的引脚图,图 1.8 所示是