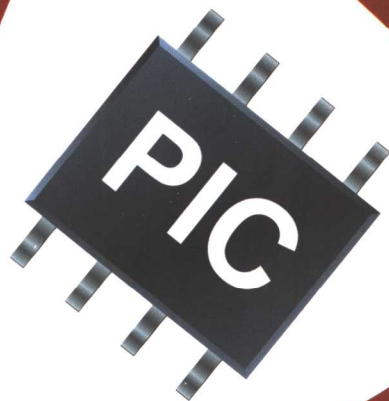


无线单片机技术丛书



PIC[®]单片机与ZigBee 无线网络实战

李文仲 段朝玉 等编著



北京航空航天大学出版社

TP368. 1/384

2007

无线单片机技术丛书

PIC[®]单片机与 ZigBee 无线网络实战

李文仲 段朝玉 等编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书从 PIC 单片机的基础讲起,逐步展开 ZigBee 无线网络技术的相关知识,最后通过大量的实验,让读者实际体验如何具体使用 ZigBee 无线技术进行实际产品的开发设计。作者希望以动手实践为主轴,让读者在不断的实验中,循序渐进地完成 PIC 单片机和 ZigBee 无线技术的有机结合,像开发简单单片机系统一样,完成复杂 ZigBee 无线产品和技术开发。

本书适合广大从事单片机、无线应用、自动控制、工业控制、无线传感等的工程技术人员作为学习、参考用书,也可作为高等院校的计算机、电子、自动化、无线课程的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

PIC®单片机与 ZigBee 无线网络实战/李文仲等编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2007.12
ISBN 978-7-81124-247-8

I. P… II. 李… III. ①单片机微型计算机②无线
电通信—通信网 IV. TP368.1 TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 173121 号

PIC®单片机与 ZigBee 无线网络实战

李文仲 段朝玉 等编著

责任编辑 许振伍 胡伟卷

*

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:24.75 字数:554 千字

2007 年 12 月第 1 版 2007 年 12 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81124-247-8 定价:39.00 元

本书编委会

主编：李文仲 段朝玉

编委：崔亚远 黄小林 敬 勇

李华云 郑裕侠 林 涛

前 言

ZigBee 是一种崭新的,专注于低功耗、低成本、低复杂度、低速率的近程无线网络通信技术。它也是目前嵌入式应用的一个大热点。

ZigBee 的特点主要有以下几个方面:

- 低功耗。在低功耗待机模式下,2 节 5 号干电池可支持一个节点工作 6~24 个月,甚至更长。这是 ZigBee 的突出优势。相比较而言,蓝牙能工作数周、Wi-Fi 可工作数小时。
- 低成本。通过大幅简化协议(不到蓝牙的 1/10),降低了对通信控制器的要求。按预测分析,以 8051 的 8 位微控制器测算,全功能的主节点需要 32 KB 代码,子功能节点则至少 4 KB 代码,而且 ZigBee 免收协议专利费。
- 低速率。ZigBee 工作在 250 kb/s 的通信速率下,可满足低速率传输数据的应用需求。
- 近距离。传输范围一般介于 10~100 m 之间,在增加 RF 发射功率后,可增加到 1~3 km。这指的是相邻节点间的距离,如果通过路由和节点间通信的接力,传输距离将可以更远。
- 短时延。ZigBee 的响应速度较快,一般从睡眠转入工作状态只需 15 ms,节点连接进入网络只需 30 ms,从而进一步节省了电能。相比较之下,蓝牙需要 3~10 s、Wi-Fi 需要 3 s。
- 高容量。ZigBee 可采用星状、片状和网状网络结构。一个主节点管理若干子节点,最多一个主节点可管理 2^{54} 个子节点;同时主节点还可由上一层网络节点管理,最多可组成 65 000 个节点的大网。
- 高安全。ZigBee 提供了 3 级安全模式,包括无安全设定、使用接入控制清单(ACL)防止非法获取数据和采用高级加密标准(AES128)的对称密码,以灵活确定其安全属性。
- 免执照频段。采用直接序列扩频在工业、科学、医疗的 2.4 GHz(全球)(ISM)频段。

正是这些全新的特点,将使 ZigBee 技术在无线数传、无线传感器网络、无线实时定位、射频识别、数字家庭、安全监视、无线键盘、无线遥控器、无线抄表、汽车电子、医疗电子、工业自动化等方面得到非常广阔的应用。

对于刚刚起步开始学习 ZigBee 技术的电子工程师、单片机工程师而言,选择一个高效率、低价格的 ZigBee 无线技术和相关的学习环境,使自己能快速入门和精通复杂的 ZigBee 无线技术,是非常重要的事情。这主要包括以下 4 个方面的选择。

1. 选择合适的微处理器

从技术眼光看,ZigBee技术的核心是微控制器(MCU),而ZigBee其实就是由该MCU的软件代码组成的一堆软件。无论是无线数据传输、路由算法、网络拓扑等,都是各种函数的组合、代码组合。学习入门ZigBee,首先要选择一个很优秀的微控制器。

由微芯公司开发的PIC系列单片机,是单片机中的后起之秀。它采用精简指令集(RISC)、哈佛总线(Harvard)结构、二级流水线取指令方式,具有实用、低价、指令集小、低功耗、高速度、体积小、功能强和简单易学等特点,体现了单片机发展的一种新趋势,也是作为ZigBee控制核心的一种理想选择。

PIC系列单片机由于将其大量的资源全部集成在芯片内部,包括I/O、存储器、通信接口等,使系统电路板需要的空间大大简化,而且一些对高频通信可能产生的干扰噪声大大减少,加上可以用电池供电和具有低功耗模式等新的特点,使PIC系列单片机非常适合应用于短距离无线通信和无线网络中。

选择PIC系列微处理器为ZigBee的核心MCU的另外一个优势是,PIC单片机目前国内已经普及,大学中专都有广泛的课程;各种参考书、教材到处都有,开发软件也早已被大家熟悉,用起来非常顺手。

2. 选择高效率、低价格的学习开发平台

确定了核心控制微处理器,就好像已经掌握了ZigBee心脏跳动的频率和运行的脉搏,接下来就需要有一套能够进行程序编译、下载、在线调试的实际学习ZigBee无线技术的开发平台了。

成都无线龙通讯科技有限公司专门为使用PIC单片机学习ZigBee技术设计了C51RF-3-JX教学系统。该系统采用了微芯的PIC18F4620单片机和TI/CHIPCON公司的CC2420最新无线ZigBee芯片,既可以满足单片机初学者熟悉PIC单片机,也可以满足有一定单片机基础的工程师、电子爱好者学习ZigBee技术,具有很强的实用性。

C51RF-3-JX教学系统包括4个ZigBee无线模块、MPU模块、大型实验板、多种传感器(温度、光电、加速度等)、4×4键盘、液晶显示、电机、蜂鸣器、RS-232接口等,可以方便地完成本书包括的各种PIC单片机和ZigBee无线网络的多种实验。

只要将C51RF-3-JX教学系统简单地连接上计算机,运行微芯公司提供的开发编译和调试环境,就可以方便地观察ZigBee/802.15.4协议栈源代码的运行情况;而且可跟踪协议栈运行情况,单步、断点和ZigBee的整个协议完全透明可控、可操作;无线收发情况也在计算机屏幕上,一目了然,随意控制。

有了这个平台,即使没有任何无线通信经验的工程师,也能够很短时间熟悉复杂的 ZigBee 协议,很快将自己的应用和 ZigBee 无线技术结合在一起,成为无线通信的内行。

3. 选择源代码开放的 ZigBee 协议栈

ZigBee 技术的核心是几万行 ZigBee/802.15.4 C51 源代码。这些源代码同 ZigBee 无线单片机芯片配合,完成数据包收发、校验、各种网络拓扑、路由计算等复杂的功能。因为这个协议栈是 ZigBee 技术的核心,所以除了微芯公司以外,国外其他厂家几乎都一律不提供协议栈源代码,而是提供协议栈目标码库文件。

换句话说,微芯公司是目前全世界唯一提供源代码开放协议栈的厂家。

虽然目标码库文件和源代码都能实现 ZigBee 协议栈的功能,但从开发/使用方便性上而言,两者间有下列明显差异:

- 源代码对使用者是全透明的,使用者可以任意修改、添加自己需要的功能。目标码则不能改动任何地方。
- ZigBee 目标码库内部一般带有内部控制/限制信息,如某国外著名厂家提供的免费协议栈是 3 个月限制版,到时间后该目标码协议栈将自动停止运行,用户需要支付专利费后才能继续使用。而源代码协议栈对用户完全透明,不会有这样的问题。
- 源代码协议栈由 C 语言写成,可以在不同微控制器上移植,而目标码库只能支持特定的微控制器。
- 源代码协议栈可以帮助使用者理解 ZigBee 协议的内部结构和实现方法。目标码库则不具备这样功能。

4. 动手实践,在实际动手中学习 ZigBee 无线技术

高频无线技术、单片机技术、C51 编程、无线传感器技术、无线网络技术和 ZigBee/802.15.4 技术都属于实验技术和实用技术。具体掌握这些技术,需要实际动手,通过编程序、实际调试、实际电路板、现场测试分析等来真正了解技术的核心,来具备实际的经验。

对于像 ZigBee/802.15.4 技术这样全新的技术,很少有书籍来进行详细地介绍,目前书店的无线类书籍大多是理论,各种复杂的计算公式,让人看起来非常吃力。但如何去像开发单片机一样,实实在在地做程序、做电路板、去调试、测试,最后做一个实际的无线产品,这些在现有图书中很难发现,然而这正是电子工程师最需要的东西。

本书从 PIC 单片机的基础讲起,逐步展开 ZigBee 无线技术的相关知识,最后通过大量的实验,让读者实际体验如何具体使用 ZigBee 无线技术,进行实际产品的开发设计。作者希望以动手实践为主轴,让读者在不断地实验中循序渐进地完成 PIC 单片机和 ZigBee 无线技术的有机结合,像开发简单单片机系统一样,完成复杂 ZigBee 无线产品和技术的开发。

我们认为,在实践中体验无线通信的原理、自己编程序、自己观察无线通信的实践过程,是快速掌握 ZigBee/802.15.4 短距离、低功耗无线网络技术的最重要的关键。

归纳起来,如果解决好上述 4 方面的问题,就具备了打开 ZigBee 大门的全部条件,剩下的就是看如何运用智慧,去实现千千万万的应用,去开发形形色色的无线产品了。而本书的目的,作为读者迈进 ZigBee 无线技术的桥梁的作用,也就达到了。

衷心希望我们和北京航空航天大学出版社共同努力出版的这本图书,能够成为读者迈入 ZigBee 无线网络技术大门的“金钥匙”,成为学习嵌入式无线技术的好伴侣。

购买了本书,并且需要本书配置实验的源代码/资料的读者,请登录 <http://www.c51rf.com/download.asp> 下载或发邮件 info@c51rf.com 索取。

作 者
2007 年 7 月

目 录

第 1 章 实验系统介绍

1.1	ZigBee 无线模块	1
1.2	CPU 模块	1
1.3	实验板	3
1.3.1	A1——传感器	3
1.3.2	A3——RS-232 接口	5
1.3.3	A4——FT232RL 设计	6
1.3.4	A5——电源	8
1.3.5	B1——JTAG	9
1.3.6	B2——无线模块(CC2420)插座	9
1.3.7	B3——MCU 插座	9
1.3.8	B4——键盘	9
1.3.9	C1——显示区	10
1.3.10	C2——电机	12
1.3.11	C3——蜂鸣器	13
1.4	移动扩展板介绍	14
1.4.1	OLED 显示	14
1.4.2	传感器	15
1.4.3	其 他	15
1.5	MPLAB IDC2 的使用	17
1.6	实验开发系统套件	17

第 2 章 PIC 及 ZigBee 软件开发环境

2.1	PIC C 语言	18
2.1.1	PIC C 语言概述	18
2.1.2	MPLAB C18 编译器	19
2.1.3	数据类型及数值范围	20
2.1.4	存储类别	21
2.1.5	预定义宏名	23
2.1.6	常 量	24
2.1.7	语言的扩展	26

2.2	MPLAB IDE 集成开发环境	28
2.3	MPLAB C18 编译器	32
2.3.1	C18 编译器安装	33
2.3.2	MPLAB IDE 集成环境配置	37
2.4	Microchip Stack for ZigBee	41
第 3 章	PIC 单片机基础	
3.1	PIC 单片机概述	45
3.2	PIC 单片机特点	47
3.3	PIC18F4620 单片机概述	50
3.3.1	纳瓦技术	52
3.3.2	多个振荡器的选项和特性	53
3.3.3	其他特殊功能	53
3.4	PIC18F4620 单片机 CPU 的特殊功能	54
3.5	PIC18F4620 单片机振荡器及复位	59
3.6	PIC18F4620 单片机存储空间	64
3.7	PIC18F4620 单片机 8×8 硬件乘法器	67
第 4 章	I/O 端口	
4.1	PIC18F4620 单片机 I/O 端口	69
4.2	I/O 端口 A(PORTA)	70
4.3	I/O 端口 B(PORTB)	72
4.4	I/O 端口 C(PORTC)	75
4.5	I/O 端口 D(PORTD)	77
4.6	I/O 端口 E(PORTE)	79
4.7	并行从动端口(PSP)	81
4.8	I/O 端口实验	82
4.8.1	LED 灯闪烁实验	83
4.8.2	键盘实验	85
第 5 章	定时器	
5.1	定时/计数器 0(TIMER0)模块	90
5.2	定时/计数器 1(TIMER1)模块	93
5.3	定时/计数器 2(TIMER2)模块	97
5.4	定时/计数器 3(TIMER3)模块	99
5.5	定时/计数器实验	102
第 6 章	增强型通用同步/异步收发器	
6.1	EUSART 寄存器	105

6.2	波特率发生器(BRG)	107
6.3	EUSART 异步模式	110
6.4	EUSART 同步主控模式	113
6.5	EUSART 同步从动模式	115
6.6	EUSART 实验	116
第7章 中 断		
7.1	中断概述	121
7.2	中断的现场保护	122
7.3	中断寄存器	122
7.4	INT n 引脚中断	127
7.5	TMR0 中断	128
7.6	PORTB 电平变化中断	128
7.7	中断实验	128
7.7.1	定时器中断实验	128
7.7.2	串口中断实验	131
第8章 主控同步串行端口		
8.1	控制寄存器	135
8.2	SPI 模式	135
8.2.1	工作原理	137
8.2.2	寄存器	138
8.2.3	典型连接	139
8.2.4	主控模式	140
8.2.5	从动模式	141
8.2.6	从动选择同步	143
8.2.7	功耗管理模式下的操作	144
8.3	I ² C 模式	144
8.4	MSSP 实验	146
8.4.1	温度传感器(LM95)实验	146
8.4.2	OLED 实验	150
第9章 PIC18F4620 模数转换器(A/D)		
9.1	A/D 寄存器	161
9.2	A/D 转换方式	163
9.3	A/D 采集要求	164
9.4	选择和配置采集时间	165
9.5	选择 A/D 转换时钟	166

9.6	配置模拟端口引脚	167
9.7	A/D 转换	167
9.8	在功耗管理模式下的操作	168
9.9	实 验	169
第 10 章	捕捉/比较/PWM(CCP)	
10.1	寄存器	173
10.2	CCP 模块配置	175
10.3	捕捉模式	176
10.4	比较模式	177
10.5	PWM 模式	180
10.6	实 验	183
10.6.1	蜂鸣器实验	183
10.6.2	电机驱动实验	185
第 11 章	短距离无线数据通信基础	
11.1	ZigBee 无线网络使用的频谱和 ISM 开放频段	189
11.2	无线数据通信网络	190
11.3	无线 CSMA/CA 协议	191
11.4	典型的短距离无线数据网络技术	191
11.4.1	ZigBee	192
11.4.2	Wi-Fi	193
11.4.3	蓝牙(Bluetooth)	195
11.4.4	超宽频技术(UWB)	197
11.4.5	近短距无线传输(NFC)	198
11.5	无线通信和无线数据网络广阔的应用前景	199
第 12 章	ZigBee 无线芯片 CC2420	
12.1	芯片主要性能特点	202
12.2	芯片 CC2420 内部结构	203
12.3	IEEE802.15.4 调制模式	204
12.4	CC2420 的 RX 与 TX 模式	206
12.4.1	接收模式	207
12.4.2	发送模式	208
12.5	MAC 数据格式	208
12.6	配置寄存器	209
12.7	参考设计电路	210
12.8	控制实验	211

12.8.1	实验现象分析	212
12.8.2	SPI 相关宏定义	213
12.8.3	CC2420 初始化函数	217
12.8.4	发送数据包函数	218
12.8.5	中断接收	220
12.8.6	发送主函数——移动扩展模块	222
12.8.7	接收主函数——实验扩展板	224
第 13 章 ZigBee 协议栈结构和原理		
13.1	ZigBee 协议栈概述	227
13.2	IEEE802.15.4 通信层	229
13.2.1	PHY(物理)层	229
13.2.2	MAC(介质接入控制子层)层	231
13.3	ZigBee 协议结构体系	234
13.4	网络层	236
13.4.1	网络层数据实体(NLDE)	236
13.4.2	网络层管理实体(NLME)	237
13.4.3	网络层功能描述	237
13.5	应用层	238
13.5.1	应用支持子层	238
13.5.2	应用层框架	238
13.5.3	应用通信基本概念	239
13.5.4	ZigBee 设备对象	239
第 14 章 ZigBee 网络实现实验		
14.1	建立网络	241
14.2	连接网络	243
14.2.1	允许连接网络	243
14.2.2	连接网络	244
14.3	断开网络	247
14.3.1	子设备请求断开网络	247
14.3.2	父设备要求子设备断开网络	248
14.4	网络实验	248
第 15 章 ZigBee 网络拓扑介绍		
15.1	ZigBee 技术体系结构	263
15.2	网络拓扑结构形成	265
15.2.1	星型网络拓扑结构的形成	265

15.2.2	对等网络拓扑结构的形成·····	265
15.3	ZigBee 绑定实验 ·····	266
15.3.1	协调器程序设计·····	268
15.3.2	终端设备程序设计·····	282
第 16 章	ZigBee 网络路由实验	
16.1	路由基本知识·····	296
16.1.1	路由器功能·····	296
16.1.2	路由成本·····	296
16.1.3	路由表·····	297
16.1.4	路由选择表·····	298
16.2	路由器工作原理 ·····	298
16.2.1	路由选择·····	298
16.2.2	路由维护·····	301
16.3	ZigBee 路由实验 ·····	302
第 17 章	ZigBee 无线测温系统	
17.1	无线测温系统原理与实现·····	322
17.2	无线测温系统程序设计·····	325
17.2.1	协调器程序设计·····	325
17.2.2	终端设备程序设计·····	330
第 18 章	基于 ZigBee 节能型路灯控制系统	
18.1	路灯自动控制系统原理及实现·····	341
18.2	路灯自动控制系统程序设计·····	343
18.2.1	协调器设计·····	344
18.2.2	终端设备设计·····	354
第 19 章	ZigBee 无线点菜系统	
19.1	无线点菜系统原理和实现·····	364
19.2	无线点菜系统程序设计·····	366
19.2.1	协调器设计·····	366
19.2.2	终端设备设计·····	371
参考文献	·····	381

第 1 章

实验系统介绍

为了适应当今技术飞速发展和高校的需要,成都无线龙开发了 C51RF-3-JX 教学系统。它可以供单片机初学者熟悉 PIC 单片机,也可以供有一定单片机基础的工程师学习 ZigBee 技术使用。本试验系统采用了微芯的 PIC18F4620 单片机和 Chipcon 公司的 CC2420 无线 ZigBee 芯片,具有很强的实用性。

本试验系统功能强大,可以让读者实际动手体验多种实践,也可以满足各行业工程师的设计需要。本试验系统包括 4 个模块: ZigBee 无线模块(CC2420)、CPU 模块(PIC18F4620)、实验板、移动扩展板。它的功能完善,具有多种传感器(温度、光电、加速度等)、4×4 键盘、液晶显示、电机、蜂鸣器、RS-232 接口等,还留有多种扩展可供选择。

PIC 单片机、ZigBee 无线网络开发应用包括硬件开发设计和软件开发设计。本章介绍了硬件开发设计环境,第 2 章将重点介绍其软件开发设计环境。

1.1 ZigBee 无线模块

高频部分在该模块完成,如图 1.1 所示是该模块的原理图。

1.2 CPU 模块

为了在该实验板上能使用其他 CPU,所以把 CPU 以模块的形式插入,以方便其他 CPU 的扩展。其原理图如图 1.2 所示。

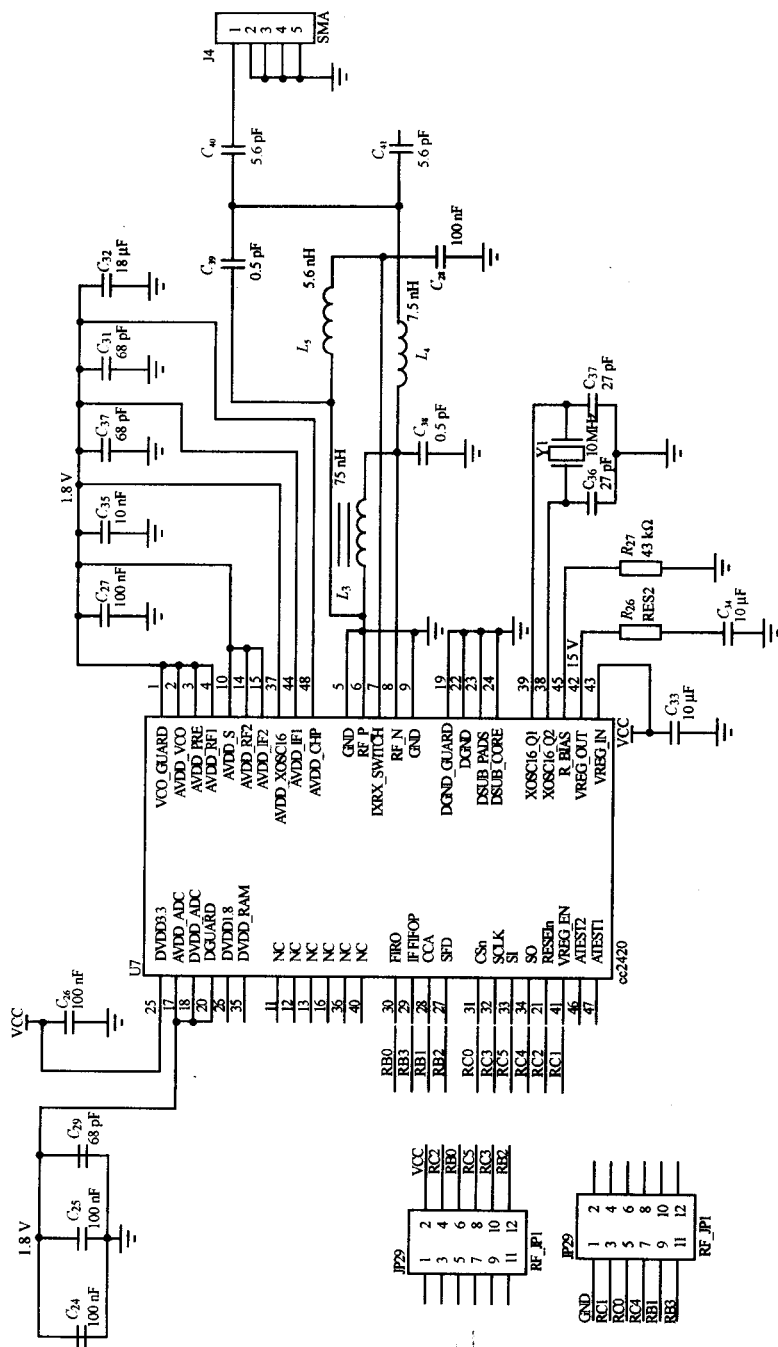


图 1.1 ZigBee(CC2420)模块原理图

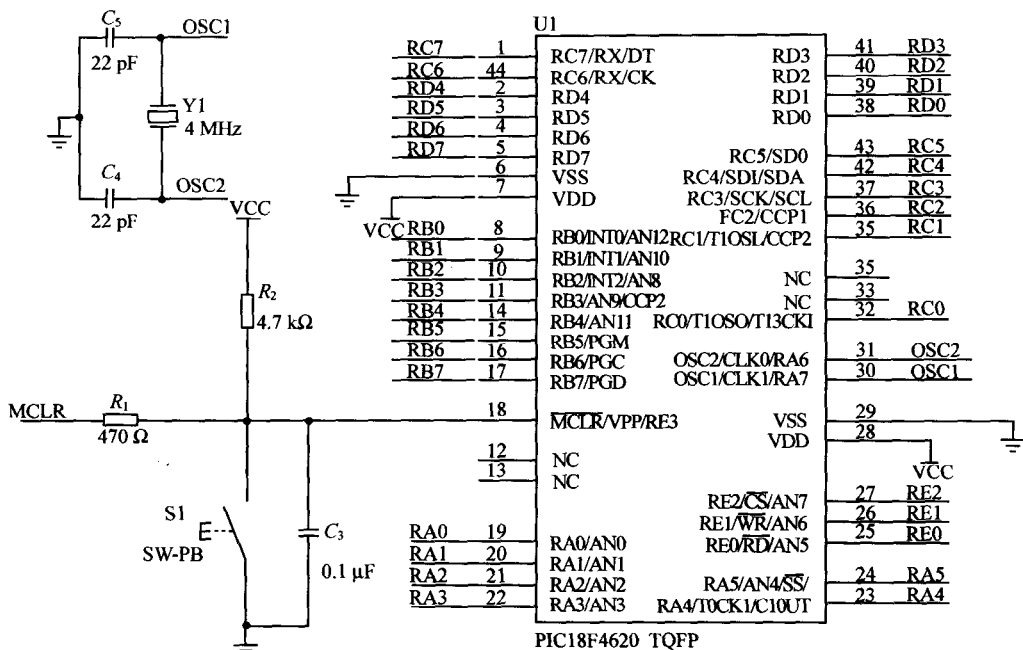


图 1.2 CPU 模块原理图

1.3 实验板

该实验板包含试验所需要的所有外设,所有单片机的试验都在该板上完成。实验板共分为 3 大区域: A、B、C 区,还留有自由布线区供扩展用。

实验板整体布局如图 1.3 所示,实物图如图 1.4 所示。

1.3.1 A1——传感器

为了监测外界环境变化,采用传感器是很有效的手段,例如,温度、光度等。在该实验系统采用了 3 种传感器: 温度、光电和电位器。温度采用的是 LM95,它是 SPI 接口,与单片机 PIC18F4620 的 SPI 相连;光电和电位器接的都是单片机的 AD 输入引脚,通过该区域的实验可以学习使用 AD 和 SPI 口。其原理图如图 1.5 所示。