

WULIANWANG JISHU
YINGYONG

物联网技术应用

主 编 张 博 高 松 付忠勇



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

物联网技术应用

主 编 张 博 高 松 付忠勇

副主编 李 益 雷 静 韩 洁 李 军



北京邮电大学出版社
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

内 容 简 介

本书秉承“专业务实、学以致用”的理念以及“工学结合”的思想,以物联网技术原理及典型工作任务为依据,以培养物联网专业技术能力为目标,围绕 CC2530 芯片、结点传感器、WinCE、RFID 相关操作实训,由浅入深、循序渐进地进行阐述。书中设置了大量的实训内容,按照相关基础知识、实训操作指南、实训知识检测的形式进行编写,突出应用性、实践性,容易被学生接受。

围绕上述内容,本书共有 4 章含 35 个各类实训项目。本书可作为高职高专院校物联网技术类专业的教材,也可作为相关专业师生和物联网应用开发人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

物联网技术应用/张博,高松,付忠勇主编.--北京:北京邮电大学出版社,2017.3(2017.8重印)

ISBN 978-7-5635-4995-5

I. ①物… II. ①张… ②高… ③付… III. ①互联网络—应用—教材②智能技术—应用—教材
IV. ①TP393.4②TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 308348 号

书 名:物联网技术应用

著作责任者:张 博 高 松 付忠勇 主 编

责 任 编 辑:满志文

出 版 发 行:北京邮电大学出版社

社 址:北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发 行 部:电话:010-62282185 传真:010-62283578

E-mail: publish@bupt. edu. cn

经 销:各地新华书店

印 刷:保定市中国画美凯印刷有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:17.5

字 数:456 千字

版 次:2017 年 3 月第 1 版 2017 年 8 月第 2 次印刷

ISBN 978-7-5635-4995-5

定 价:42.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

物联网是新一代信息技术的重要组成部分,也是“信息化”时代的重要发展阶段。物联网通过智能感知、识别技术与普适计算等通信感知技术,广泛应用于网络的融合中,也因此被称为继计算机、互联网之后世界信息产业发展的第三次浪潮。物联网将是下一个推动世界高速发展的“重要生产力”,是继通信网之后的另一个万亿级市场。物联网的推广将会成为推进经济发展的又一个驱动器,为产业开拓了又一个潜力无穷的发展机会。按照对物联网的需求,需要按亿计的传感器和电子标签,这将大大推进信息技术元件的生产,同时增加大量的就业机会。

物联网拥有业界最完整的专业物联产品系列,覆盖从传感器、控制器到云计算的各种应用。产品服务智能家居、交通物流、环境保护、公共安全、智能消防、工业监测、个人健康等各种领域。物联网产业是当今世界经济和科技发展的战略制高点之一,全国物联网产业规模2015年超过5 000亿元。

随着我国相关产业的发展,社会需要大量具有物联网技术基本技能和综合能力的一线高级技术应用型人才。

物联网是应用性很强的专业技术领域,如何工学结合,使学生尽快适应工作岗位的需要,是高职高专院校教学改革的重点,基于这种背景结合教学、科研和生产实践编写本教材。

全书共分为4章,主要内容包括CC2530芯片、结点传感器、WinCE、RFID相关操作任务等。

全书以项目实训方式编写,从相关基础知识简介、实训操作指南到实训知识检测,涵盖知识要点、关键技术解析、操作指南、任务检测等环节,涉及芯片应用开发、传感器应用、操作系统、RFID等相关技术和技能的训练。深入浅出,通俗易懂,便于帮助学生分析、理解并掌握物联网技术的基本知识和操作技能。

本书由北京政法职业学院信息技术系教师编写,张博、高松、付忠勇担任主编,李益、雷静、韩洁、李军担任副主编,胡晓凤、侯佳路、徐园、李迎参编,在本书的编写过程中得到了北京金戈大通通信技术有限公司的支持与帮助,特此鸣谢。

由于编者的水平有限,加之技术和相关学术领域的不断变化、更新,书中的不足之处在所难免,恳请各位专家和读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 CC2530 基础实训	1
1.1 实训 1—输入/输出 I/O 控制	1
1.1.1 相关基础知识	1
1.1.2 实训操作指南	4
1.1.3 实训知识检测	8
1.2 实训 2—定时/计数器	9
1.2.1 相关基础知识	9
1.2.2 实训操作指南	13
1.2.3 实训知识检测	24
1.3 实训 3—中断	24
1.3.1 相关基础知识	24
1.3.2 实训操作指南	31
1.3.3 实训知识检测	36
1.4 实训 4—AD 转换	36
1.4.1 相关基础知识	36
1.4.2 实训操作指南	39
1.4.3 实训知识检测	49
1.5 实训 5—UART 串口	49
1.5.1 相关基础知识	49
1.5.2 实训操作指南	51
1.5.3 实训知识检测	60
1.6 实训 6—睡眠定时器	61
1.6.1 相关基础知识	61
1.6.2 实训操作指南	62
1.6.3 实训知识检测	70
1.7 实训 7—“看门狗”	70
1.7.1 相关基础知识	70
1.7.2 实训操作指南	71
1.7.3 实训知识检测	74
1.8 实训 8—液晶	74

1.8.1	相关基础知识	74
1.8.2	实训操作指南	78
1.8.3	实训知识检测	88
第2章 结点传感器实训		89
2.1	实训9—蜂鸣器实训	89
2.1.1	相关基础知识	89
2.1.2	实训操作指南	90
2.1.3	实训知识检测	92
2.2	实训10—可燃气体CO模块	92
2.2.1	相关基础知识	92
2.2.2	实训操作指南	97
2.2.3	实训知识检测	100
2.3	实训11—红外人体感应模块	101
2.3.1	相关基础知识	101
2.3.2	实训操作指南	103
2.3.3	实训知识检测	105
2.4	实训12—MQ-2烟雾传感器	106
2.4.1	相关基础知识	106
2.4.2	实训操作指南	108
2.4.3	实训知识检测	111
2.5	实训13—超声波传感器	111
2.5.1	相关基础知识	111
2.5.2	实训操作指南	112
2.5.3	实训知识检测	117
2.6	实训14—三轴加速度传感器	118
2.6.1	相关基础知识	118
2.6.2	实训操作指南	119
2.6.3	实训知识检测	128
2.7	实训15—三轴指南针传感器	128
2.7.1	相关基础知识	128
2.7.2	实训操作指南	129
2.7.3	实训知识检测	138
2.8	实训16—大气压强传感器	138
2.8.1	相关基础知识	138
2.8.2	实训操作指南	139
2.8.3	实训知识检测	149
2.9	实训17—高精度温湿度采集	149
2.9.1	相关基础知识	149
2.9.2	实训操作指南	153

2.9.3 实训知识检测	161
2.10 实训 18—光照采集	162
2.10.1 相关基础知识	162
2.10.2 实训操作指南	164
2.10.3 实训知识检测	169
2.11 实训 19—红外通信	169
2.11.1 相关基础知识	169
2.11.2 实训操作指南	171
2.11.3 实训知识检测	177
2.12 实训 20—蓝牙 4.0	177
2.12.1 相关基础知识	177
2.12.2 实训操作指南	178
2.12.3 实训知识检测	184
第 3 章 WINCE 实训	185
3.1 实训 21—WINCE 开发环境的建立	185
3.1.1 相关基础知识	185
3.1.2 实训操作指南	187
3.1.3 实训知识检测	200
3.2 实训 22—Hello World	201
3.2.1 相关基础知识	201
3.2.2 实训操作指南	202
3.2.3 实训知识检测	207
3.3 实训 23—LED 测试	208
3.3.1 相关基础知识	208
3.3.2 实训操作指南	209
3.3.3 实训知识检测	211
3.4 实训 24—按键测试	212
3.4.1 相关基础知识	212
3.4.2 实训操作指南	214
3.4.3 实训知识检测	218
3.5 实训 25—PWM 控制蜂鸣器测试	218
3.5.1 相关基础知识	218
3.5.2 实训操作指南	219
3.5.3 实训知识检测	223
3.6 实训 26—录音测试	223
3.6.1 相关基础知识	223
3.6.2 实训操作指南	226
3.6.3 实训知识检测	229
3.7 实训 27—串口测试	230

3.7.1	相关基础知识	230
3.7.2	实训操作指南	231
3.7.3	实训知识检测	234
3.8	实训 28—线程的创建	235
3.8.1	相关基础知识	235
3.8.2	实训操作指南	235
3.8.3	实训知识检测	239
3.9	实训 29—Ping 通信	240
3.9.1	相关基础知识	240
3.9.2	实训操作指南	241
3.9.3	实训知识检测	241
3.10	实训 30—UDP 通信	243
3.10.1	相关基础知识	243
3.10.2	实训操作指南	243
3.10.3	实训知识检测	247
第 4 章	RFID 实训	248
4.1	实训 31—RFID 读写器原理	248
4.1.1	相关基础知识	248
4.1.2	实训操作指南	249
4.1.3	实训知识检测	251
4.2	实训 32—RFID 电子标签的数据存储	251
4.2.1	相关基础知识	251
4.2.2	实训操作指南	256
4.2.3	实训知识检测	256
4.3	实训 33—RFIDISO14443 协议及命令	257
4.3.1	相关基础知识	257
4.3.2	实训操作指南	258
4.3.3	实训知识检测	263
4.4	实训 34—基于 ISO14443 TYPEA 协议的 M1 卡认证及读写数据	264
4.4.1	相关基础知识	264
4.4.2	实训操作指南	265
4.4.3	实训知识检测	268
4.5	实训 35—RFID 多卡防碰撞	268
4.5.1	相关基础知识	268
4.5.2	实训操作指南	268
4.5.3	实训知识检测	271

第 1 章 CC2530 基础实训

1.1 实训 1—输入/输出 I/O 控制

1.1.1 相关基础知识

1. 芯片简介

CC2530 是用于 2.4-GHz IEEE 802.15.4、ZigBee 和 RF4CE 应用的一个真正的片上系统 (SoC) 解决方案。它能够以非常低的总的材料成本建立强大的网络结点。CC2530 结合了领先的 RF 收发器的优良性能,业界标准的增强型 8051CPU,系统内可编程闪存,8-KB RAM 和许多其他强大的功能。CC2530 有四种不同的闪存版本:CC2530F32/64/128/256,分别具有 32/64/128/256 KB 的闪存。CC2530 具有不同的运行模式,使得它尤其适应超低功耗要求的系统。运行模式之间的转换时间短,进一步确保了低能源消耗。

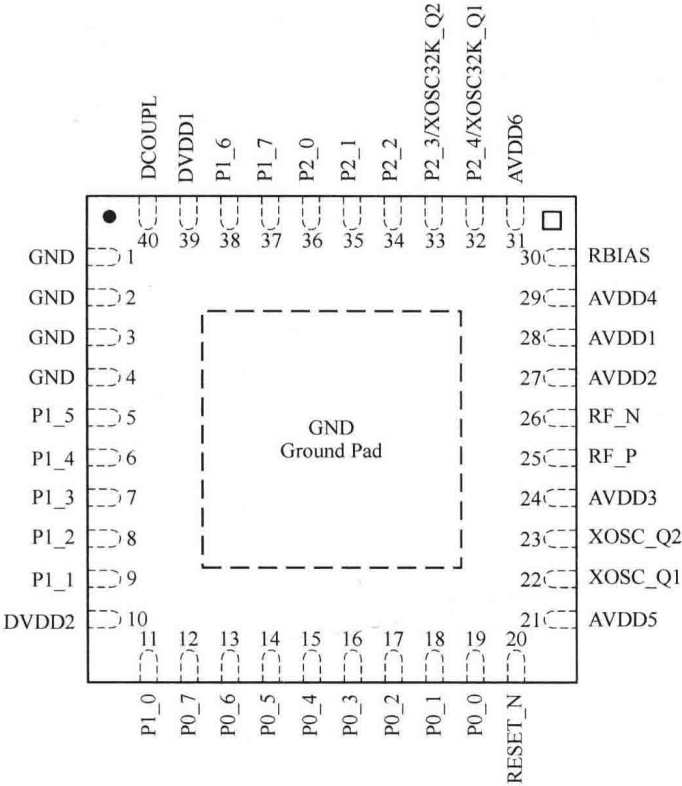


图 1-1-1 CC2530 芯片

引脚名称及引脚类型描述:

- ✓ AVDD1 28 电源(模拟) 2 V~3.6 V 模拟电源连接。
- ✓ AVDD2 27 电源(模拟) 2 V~3.6 V 模拟电源连接。
- ✓ AVDD3 24 电源(模拟) 2 V~3.6 V 模拟电源连接。
- ✓ AVDD4 29 电源(模拟) 2 V~3.6 V 模拟电源连接。
- ✓ AVDD5 21 电源(模拟) 2 V~3.6 V 模拟电源连接。
- ✓ AVDD6 31 电源(模拟) 2 V~3.6 V 模拟电源连接。
- ✓ DCOUPL 40 电源(数字) 1.8 V 数字电源去耦。不使用外部电路供应。
- ✓ DVDD1 39 电源(数字) 2V~5 V 数字电源连接。
- ✓ DVDD2 10 电源(数字) 2V~5 V 数字电源连接。
- ✓ GND-接地 接地衬垫必须连接到一个坚固的接地面。
- ✓ GND 1,2,3,4 未使用的引脚连接到 GND。
- ✓ P0_0 19 数字 I/O 端口 0.0。
- ✓ P0_1 18 数字 I/O 端口 0.1。
- ✓ P0_2 17 数字 I/O 端口 0.2。
- ✓ P0_3 16 数字 I/O 端口 0.3。
- ✓ P0_4 15 数字 I/O 端口 0.4。
- ✓ P0_5 14 数字 I/O 端口 0.5。
- ✓ P0_6 13 数字 I/O 端口 0.6。
- ✓ P0_7 12 数字 I/O 端口 0.7。
- ✓ P1_0 11 数字 I/O 端口 1.0~20 mA 驱动能力。
- ✓ P1_1 9 数字 I/O 端口 1.1~20 mA 驱动能力。
- ✓ P1_2 8 数字 I/O 端口 1.2。
- ✓ P1_3 7 数字 I/O 端口 1.3。
- ✓ P1_4 6 数字 I/O 端口 1.4。
- ✓ P1_5 5 数字 I/O 端口 1.5。
- ✓ P1_6 38 数字 I/O 端口 1.6。
- ✓ P1_7 37 数字 I/O 端口 1.7。
- ✓ P2_0 36 数字 I/O 端口 2.0。
- ✓ P2_1 35 数字 I/O 端口 2.1。
- ✓ P2_2 34 数字 I/O 端口 2.2。
- ✓ P2_3 33 数字 I/O 模拟端口 2.3/32.768 kHz XOSC。
- ✓ P2_4 32 数字 I/O 模拟端口 2.4/32.768 kHz XOSC。
- ✓ RBIAS 30 模拟 I/O 参考电流的外部精密偏置电阻。
- ✓ RESET_N 20 数字输入复位,活动到低电平。
- ✓ RF_N 26 RF I/O RX 期间负 RF 输入信号到 LNA。
- ✓ RF_P 25 RF I/O RX 期间正 RF 输入信号到 LNA。
- ✓ XOSC_Q1 22 模拟 I/O 32-MHz 晶振引脚 1 或外部时钟输入。
- ✓ XOSC_Q2 23 模拟 I/O 32-MHz 晶振引脚 2。

2. CPU 和内存

CC253x 芯片系列中使用的 8051 CPU 内核是一个单周期的 8051 兼容内核。它有三种不同的内存访问总线(SFR, DATA 和 CODE/XDATA), 单周期访问 SFR、DATA 和主 SRAM。它还包括一个调试接口和一个 18 输入扩展中断单元。

中断控制器总共提供了 18 个中断源, 分为六个中断组, 每个与四个中断优先级之一相关。当设备从活动模式回到空闲模式, 任一中断服务请求就被激发。一些中断还可以从睡眠模式(供电模式 1~3)中唤醒设备。

内存仲裁器位于系统中心, 因为它通过 SFR 总线把 CPU 和 DMA 控制器和物理存储器以及所有外设连接起来。内存仲裁器有四个内存访问点, 每次访问可以映射到三个物理存储器之一: 一个 8 KB SRAM、闪存存储器和 XREG/SFR 寄存器。它负责执行仲裁, 并确定同时访问同一个物理存储器之间的顺序。

8 KB SRAM 映射到 DATA 存储空间和部分 XDATA 存储空间。8 KB SRAM 是一个超低功耗的 SRAM, 即使数字部分掉电(供电模式 2 和供电模式 3)也能保留其内容。这是对于低功耗应用来说很重要的一个功能。

32/64/128/256 KB 闪存块为设备提供了内电路可编程的非易失性程序存储器, 映射到 XDATA 存储空间。除了保存程序代码和常量以外, 非易失性存储器允许应用程序保存必须保留的数据, 这样设备重启之后可以使用这些数据。使用这个功能, 例如可以利用已经保存的网络具体数据, 就不需要经过完全启动、网络寻找和加入过程。

3. 时钟和电源管理

数字内核和外设由一个 1.8V 低差稳压器供电。它提供了电源管理功能, 可以实现使用不同供电模式的长电池寿命的低功耗运行。有五种不同的复位源来复位设备。

4. 外设

CC2530 包括许多不同的外设, 允许应用程序设计者开发先进的应用。

调试接口执行一个专有的两线串行接口, 用于内电路调试。通过这个调试接口, 可以执行整个闪存存储器的擦除、控制振荡器、停止和开始执行用户程序、执行 8051 内核提供的指令、设置代码断点, 以及内核中全部指令的单步调试。使用这些技术, 可以很好地执行内电路的调试和外部闪存的编程。

设备含有闪存存储器以存储程序代码。闪存存储器可通过用户软件和调试接口编程, 闪存控制器处理写入和擦除嵌入式闪存存储器。闪存控制器允许页面擦除和 4 字节编程。

I/O 控制器负责所有通用 I/O 引脚。CPU 可以配置外设模块是否控制某个引脚或它们是否受软件控制, 如果是的话, 每个引脚配置为一个输入还是输出, 是否连接衬垫里的一个上拉或下拉电阻。CPU 中断可以分别在每个引脚上使能。每个连接到 I/O 引脚的外设可以在两个不同的 I/O 引脚位置之间选择, 以确保在不同应用程序中的灵活性。

系统可以使用一个多功能的五通道 DMA 控制器, 使用 XDATA 存储空间访问存储器, 因此能够访问所有物理存储器。每个通道(触发器、优先级、传输模式、寻址模式、源和目标指针和传输计数)用 DMA 描述符在存储器任何地方配置。许多硬件外设(AES 内核、闪存控制器、USART、定时器、ADC 接口)通过使用 DMA 控制器在 SFR 或 XREG 地址和闪存/SRAM 之间进行数据传输, 获得高效率操作。定时器 1 是一个 16 位定时器, 具有定时器/PWM 功能。它有一个可编程的分频器, 一个 16 位周期值, 和 5 个各自可编程的计数器/捕获通道, 每个都有一个 16 位比较值。每个计数器/捕获通道可以用作一个 PWM 输出或捕获输入信号边

沿的时序。它还可以配置在 IR 产生模式,计算定时器 3 的周期,输出是 ANDed,定时器 3 的输出是用最小的 CPU 互动产生调制的消费型 IR 信号。

MAC 定时器(定时器 2)是专门为支持 IEEE802.15.4 MAC 或软件中其他时槽的协议设计。定时器有一个可配置的定时器周期和一个 8 位溢出计数器,可以用于保持跟踪已经经过的周期数。一个 16 位捕获寄存器也用于记录收到/发送一个帧开始界定符的精确时间,或传输结束的精确时间,还有一个 16 位输出比较寄存器可以在具体时间产生不同的选通命令(开始 RX,开始 TX,等等)到无线模块。定时器 3 和定时器 4 是 8 位定时器,具有定时器/计数器/PWM 功能。它们有一个可编程的分频器,一个 8 位的周期值,一个可编程的计数器通道,具有一个 8 位的比较值。每个计数器通道可以用作一个 PWM 输出。

睡眠定时器是一个超低功耗的定时器,计算 32 kHz 晶振或 32 kHz RC 振荡器的周期。睡眠定时器在除了供电模式 3 的所有工作模式下不断运行。这一定时器的典型应用是作为实时计数器,或作为一个唤醒定时器跳出供电模式 1 或模式 2。

ADC 支持 7 到 12 位的分辨率,分别在 30 kHz 或 4 kHz 的带宽。DC 和音频转换可以使用高达 8 个输入通道(端口 0)。输入可以选择作为单端或差分。参考电压可以是内部电压、AVDD 或是一个单端或差分外部信号。ADC 还有一个温度传感输入通道。ADC 可以自动执行定期抽样或转换通道序列的程序。

随机数发生器使用一个 16 位 LFSR 来产生伪随机数,这可以被 CPU 读取或由选通命令处理器直接使用。例如随机数可以用作产生随机密钥,用于信息安全方面。

AES 加密/解密内核允许用户使用带有 128 位密钥的 AES 算法加密和解密数据。这一内核能够支持 IEEE802.15.4 MAC 安全、ZigBee 网络层和应用层要求的 AES 操作。

一个内置的“看门狗”允许 CC2530 在固件挂起的情况下复位自身。当“看门狗”定时器由软件使能,它必须定期清除;否则,当它超时就复位设备,或者它可以配置用作一个通用 32 kHz 定时器。

USART0 和 USART1 每个被配置为一个 SPI 主/从或一个 UART。它们为 RX 和 TX 提供了双缓冲,以及硬件流控制,因此非常适合于高吞吐量的全双工应用。每个都有自己的高精度波特率发生器,因此可以使普通定时器空闲出来用作其他用途。

5. 无线设备

CC2530 具有一个 IEEE802.15.4 兼容无线收发器。RF 内核控制模拟无线模块。另外,它提供了 MCU 和无线设备之间的一个接口,这使得可以发出命令、读取状态、自动操作和确定无线设备事件的顺序。无线设备还包括一个数据包过滤和地址识别模块。

1.1.2 实训操作指南

1. 实训名称

输入/输出(I/O)控制实训。实训主要包括三个部分:自动闪烁实训,按键控制开关实训以及按键控制闪烁实训。实训的核心为 CC2530,通过 CC2530 完成输入/输出(I/O)控制实训。

2. 实训目的

通过本实训完成初步了解本物联网试验箱的基础操作流程,并且学会使用 CC2530 的 I/O 来控制外设。通过以下三个基础实训,由简入深地学习输入/输出(I/O)控制的基本原理。

本例主要分为三个部分:

(1) 基础实训 1:以 LED 灯为外设,用 CC2530 控制简单外设时,应将 I/O 设置为输出。

实训现象 LED 闪烁。

(2) 基础实训 2:让用户掌握按键应用这一常用人机交互方法,使用两个分别控制两个 LED 灯。按下“OK”键 S6 切换 ZigBee 模块左边 LED 灯开关,按下“CANCEL”键 S7 切换 ZigBee 模块右边 LED 灯开关。

(3) 基础实训 3:在基础实训 2 的基础上进行使用按键控制 LED 闪烁实训。按下“OK”键 S6 切换 ZigBee 模块左边 LED 灯闪烁,按下“CANCEL”键 S7 切换 ZigBee 模块右边 LED 灯闪烁。

3. 实训设备

实训设备如下所示:

仿真器 1 台,电池板(或液晶板)1 块,ZigBee 模块 1 块,USB 连接线 1 根。

4. 实训步骤及结果

1) 基础实训 1:自动闪烁

本次实训的目的是让用户学会使用 CC2530 的 I/O 来控制外设,本例以 LED 灯为外设,用 CC2530 控制简单外设时,应将 I/O 设置为输出。实训现象 LED 闪烁。

(1) 实训相关寄存器

实训中进行操作的寄存器有 P1、P1DIR,没有设置而是取默认值的寄存器有 P1SEL、P1INP,如表 1-1-1、表 1-1-2、表 1-1-3 所示。

表 1-1-1 P1(P1 口寄存器)

位号	位名	复位值	操作性	功能描述
7 : 0	P1[7 : 0]	0×00	读/写	P1 端口普通功能寄存器,可位寻址

表 1-1-2 P1DIR(P1 方向寄存器)

位号	位名	复位值	操作性	功能描述
7	DIRP1_7	0	读/写	P1_7 方向 0 输入,1 输出
6	DIRP1_6	0	读/写	P1_6 方向 0 输入,1 输出
5	DIRP1_5	0	读/写	P1_5 方向 0 输入,1 输出
4	DIRP1_4	0	读/写	P1_4 方向 0 输入,1 输出
3	DIRP1_3	0	读/写	P1_3 方向 0 输入,1 输出
2	DIRP1_2	0	读/写	P1_2 方向 0 输入,1 输出
1	DIRP1_1	0	读/写	P1_1 方向 0 输入,1 输出
0	DIRP1_0	0	读/写	P1_0 方向 0 输入,1 输出

P1SEL(P1 功能选择寄存器),如表 1-1-3 所示。

表 1-1-3 P1SEL(P1 功能选择寄存器)

位号	位名	复位值	操作性	功能描述
7	SELP1_7	0	读/写	P1_7 功能 0 普通 I/O,1 外设功能
6	SELP1_6	0	读/写	P1_6 功能 0 普通 I/O,1 外设功能
5	SELP1_5	0	读/写	P1_5 功能 0 普通 I/O,1 外设功能
4	SELP1_4	0	读/写	P1_4 功能 0 普通 I/O,1 外设功能
3	SELP1_3	0	读/写	P1_3 功能 0 普通 I/O,1 外设功能
2	SELP1_2	0	读/写	P1_2 功能 0 普通 I/O,1 外设功能
1	SELP1_1	0	读/写	P1_1 功能 0 普通 I/O,1 外设功能
0	SELP1_0	0	读/写	P1_0 功能 0 普通 I/O,1 外设功能

(2) 实训相关函数

void Delay(uint n);函数原型如下：

```
void Delay(uint n)
{
    uint tt;
    for(tt = 0;tt<n;tt++);
    for(tt = 0;tt<n;tt++);
    for(tt = 0;tt<n;tt++);
    for(tt = 0;tt<n;tt++);
    for(tt = 0;tt<n;tt++);
}
```

函数功能是软件延时,执行 5 次 0 到 n 的空循环来实现软件延时。延时时间约为 $5 \times n / 32 \mu s$ 。

void Initial(void);函数原型如下：

```
void Initial(void)
{
    P1DIR |= 0x03; //P10、P11 定义为输出
    RLED = 1;
    YLED = 1; //LED 灭
}
```

函数功能是把连接 LED 的两个 I/O 设置为输出,同时将它们设为高电平(此时 LED 灭)。

2) 基础实训 2: 按键控制开关

让用户掌握按键应用这一常用人机交互方法,本次使用两个分别控制两个 LED 灯。按下“OK”键,S6 切换 ZigBee 模块左边 LED 灯开关,按下“CANCEL”键,S7 切换 ZigBee 模块右边 LED 灯开关。

(1) 实训相关寄存器

实训中操作了的寄存器有 P1、P1DIR、P1SEL、P1INP。前面三个寄存器在 CC2530 基础实训 1 中已经有详述,这里不再重复介绍。

P1 参见 CC2530 基础实训 1。

P1SEL 参见 CC2530 基础实训 1。

P1DIR 参见 CC2530 基础实训 1。

P1INP 寄存器,如表 1-1-4 所示。

表 1-1-4 P1INR(P1 输入模式寄存器)

位号	位名	复位值	操作性	功能描述
7	PDUP2	0	读/写	P2 口上/下拉选择 0 上拉,1 下拉
6	PDUP1	0	读/写	P1 口上/下拉选择 0 上拉,1 下拉
5	PDUP0	0	读/写	P0 口上/下拉选择 0 上拉,1 下拉
4	MDP2_4	0	读/写	P2_4 输入模式 0 上拉,1 下拉
3	MDP2_3	0	读/写	P2_3 输入模式 0 上拉,1 下拉
2	MDP2_2	0	读/写	P2_2 输入模式 0 上拉,1 下拉
1	MDP2_1	0	读/写	P2_1 输入模式 0 上拉,1 下拉
0	MDP2_0	0	读/写	P2_0 输入模式 0 上拉,1 下拉

(2) 实训相关函数

void Delay(uint n);参见 CC2530 基础实训 1。

void Initial(void);参见 CC2530 基础实训 1。

void InitKey(void);函数原型如下:

```
void InitKey(void)
{
    POSEL &= ~0X18;      //P04,P03 输入
    P0DIR &= ~0X18;      //按键在 P04 P03
    P0INP |= 0x18;       //上拉
}
```

函数功能是将 I/O P1_2,P1_3 设为输入(且为三态)以读取按键的状态。

unsigned char KeyScan(void);函数原型是:

```
uchar KeyScan(void)
{
    if(K1 == 0) //低电平有效
    {
        Delay(100); //检测到按键
        if(K1 == 0) //前面定义了 #define K1 P04
        {
            while(! K1); //直到松开按键
            return(1);
        }
    }
    if(K2 == 0)
    {
        Delay(100);
        if(K2 == 0)
        {
            while(! K2);
            return(2);
        }
    }
    return(0);
}
```

函数功能是检测按键是否按下,若有键按下,则返回相应的值,如 P0_3 对应的按键按下则返回 1,P0_4 对应的按键按下返回 2。

3) 基础实训 3: 按键控制闪烁

本实训的控制比实训 2 的控制稍显复杂,这个实训中使用按键控制 LED 闪烁。按下“OK”键,S6 切换 ZigBee 模块左边 LED 灯闪烁,按下“CANCEL”键,S7 切换 ZigBee 模块右边 LED 灯闪烁。

(1) 实训相关寄存器

实训中操作了的寄存器有 P0、P0DIR、P0SEL、P1INP。前面三个寄存器在 CC2530 基础实训 1 中已经有详述,这里不再重复介绍。

P1 参见 CC2530 基础实训 1。

P1SEL 参见 CC2530 基础实训 1。

P1DIR 参见 CC2530 基础实训 1。

P1INP 参见 CC2530 基础实训 2。

(2) 实训相关函数

void Delay(uint n);参见 CC2530 基础实训 1。

void Initial(void);参见 CC2530 基础实训 1。

void InitKey(void);参见 CC2530 基础实训 1。

unsigned char KeyScan(void);参见 CC2530 基础实训 2。

1.1.3 实训知识检测

1. 狭义的无线传感网络包含传感点、网络协议、网络拓扑结构。

2. 传感器结点由传感器模块、处理器模块、无线通信模块、能量供应模块四部分组成。
3. IEEE802.15.4 规范定义了 27 个物理信道,信道编号从 0 到 26,其中 0 号信道、1 号信道、26 号信道的中心频率分别是 868 MHz、900 MHz、2170 MHz。
4. IEEE802.15.4 的数据传送有三种方式,一是终端数据传输器译到协调器;二是协调器传送器件到终端器件,三是在两个对等器件间传输。
5. IEEE802.15.4 标准中共定义了四种类型的帧:信标帧、数据帧、确认帧、MAC 命令帧。
6. 定时器 1 是一个 16 位定时器,可在时钟上升沿或下降沿递增或者递减计数。
7. 定时器 1 有自由运行模式、取模模式、递增计数/递减计数模式、通道模式四种工作模式。
8. 定时器通道控制模式包含输入捕获模式和输出比较模式两种模式。
9. CC2530 定时器的精度有 Tmilli(ms)、T32 kHz(32 kHz)、Tmicro(Hs)。
10. 设置定时器 1 的控制寄存器 T1CTL 值为 0x0E,则时钟进行了 128 分频,定时器工作于取模模式。
11. 将定时器通道 1 设置为下降沿捕获,允许通道 1 中断,则捕获/比较寄存器 T1CCTL1 的值为 0x46;将定时器通道 0 设置为输出比较模式,输出置 0,通道 0 的比较模式为:“输出置 0”,则捕获/比较寄存器 T1CCTL0 的值为 0x48。
12. CC2530 有 21 个 I/O 端口,其中 P0、P1 2 个 8 位端口,P2 一个 5 位端口。
13. 将 P0 口设置为输出,则 P0DIR=0xFF。
14. 将 P1 口设置为输出,则 P1SEL=0x00。
15. 如果已经允许 P0 中断,只允许 P0 口的低 4 位中断,P0IEN=0x0F。
16. 如果 P0IFG=0x05,则哪些端口有中断发生 P0.0 和 P0.2。TinyOS 操作系统是加州大学伯克利分校的 David Culler 领导的研究小组为无线传感网量身定制的开源的嵌入式操作系统。而 nesC 语言由 C 语言扩展而来,用来描述 TinyOS 的执行模型和结构;nesC 语言是 TinyOS 的编程语言,也是 TinyOS 应用程序的开发工具。
17. CC2530 是用于 2.4 GHz IEEE 802.15.4、ZigBee 和 RF4CE 应用的一个真正的片上系统 SoC 解决方案。CC2530 结合了领先的 RF 收发器的优良性能,业界标准的增强型 8051CPU,系统内可编程闪存,8 KB RAM 和许多其他强大的功能。CC2530 具有不同的运行模式,使得它尤其适应超低功耗要求的系统。运行模式之间的转换时间短,进一步确保了低能源消耗。
18. CC2530 的 ADC 转换器支持 14 位模拟数字转换,转换后的有效位数高达 12 位;7~12 位的有效分辨率位。
19. CC2530 具有 USART0 和 USART1 两个串行通信接口,它们可分别运行于异步 UART 模式或者同步 SPI 模式。
20. CC2530 的异步串行接口提供使用 RXD 和 TXD 的 2 线。

1.2 实训 2—定时/计数器

1.2.1 相关基础知识

1. 振荡器和时钟

CC2530 设备有一个内部系统时钟,或者主时钟。系统时钟源可以由 16 MHz RC 振荡器