

普通高校物联网工程专业规划教材

物联网技术 及应用

张开生 编著



清华大学出版社

普通高校物联网工程专业规划教材

物联网技术及应用

张开生 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

全书共4篇,基础篇主要对物联网的概念、组成、发展进行概述,同时简单介绍物联网中的关键技术和一些常用的物联网传感器及其特点,最后列举物联网技术的典型应用;理论篇主要对CC2530内部模块的GPIO、外部中断、定时器、DMA、UART等内部资源的设置及相关寄存器进行讲解,同时在每节最后提供相关参考程序供读者参考和使用;入门篇主要对CC2530相关的基本硬件结构进行介绍,同时对编辑软件的安装、应用,以及程序的烧写进行介绍;实践篇设置一系列实验,从最基础的无线控制LED实验开始到较复杂的ZigBee管理系统实验,从易到难,适合不同层次的读者进行递阶学习。同时,为了帮助读者能够清晰地理解程序的设计思路,在主要实验中都给出了相关的程序流程图,并在程序中标注了大量的注解。

本教材从物联网基础知识入手,坚持由浅入深、由里及外、循序渐进的学习导向,使物联网教学不再乏味,适合零基础的读者学习物联网系统。本书适合作为电气信息类(物联网、电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术等)等专业的大学高年级学生和研究生必修或选修教材,以及嵌入式计算机方面的指导用书,也可以作为相关科技人员的自学用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

物联网技术及应用/张开生编著. —北京:清华大学出版社,2016

(普通高校物联网工程专业规划教材)

ISBN 978-7-302-45605-6

I. ①物… II. ①张… III. ①互联网络—应用—高等学校—教材 ②智能技术—应用—高等学校—教材 IV. ①TP393.4 ②TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第283910号

责任编辑:白立军 薛 阳

封面设计:傅瑞学

责任校对:时翠兰

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印装者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:31.75

字 数:788千字

版 次:2016年12月第1版

印 次:2016年12月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:49.50元

产品编号:069466-01

前 言

“在现实物理世界与虚拟计算机世界之间实现信息交互”这一革命性的理念,突破了以往信息技术发展的固有模式和思路,使得物联网一跃成为全国乃至世界关注的焦点,国内外都把物联网的发展提到了国家级的战略高度,称之为继计算机、互联网之后世界信息产业的第三次浪潮。

何谓物联网?不同的阶段在不同的场合有不同的描述。目前对物联网比较准确的表述是:通过各种信息传感设备及系统(传感网、射频识别系统、红外感应器、激光扫描器等)、条码与二维码、全球定位系统,按约定的通信协议,将物与物、人与物连接起来,通过各种接入网、互联网进行信息交换,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种信息网络。物联网的主要特征是每一个物件都可以寻址,每一个物件都可以控制,每一个物件都可以通信。显然,作为“感知、传输、应用”三项技术相结合的一种产物,它是一种全新的信息获取和处理技术。

随着物联网技术进步的同时,新兴的短距离无线通信技术和无线网络技术也在飞速发展,ZigBee 技术应运而生,正以空前的速度走进人们的生活,使人们的生活和工作更加方便,更加安全。2002年8月,由英国 Invensys 公司、日本三菱电气公司、美国 Motorola 公司和荷兰 Philips 公司共同发起了 ZigBee 联盟,致力于以 IEEE 802.15.4 MAC 和物理层协议为基础,进行 ZigBee 技术的网络层和高层应用规范的指定、设备测试和市场推广工作,实现各家产品的相互兼容,以期望与其他类似无线通信产品相抗衡并迅速拓展在这一领域的市场。

ZigBee 是一种网络容量大、节点体积小、架构简单、低速率、低功耗的无线通信技术。由于其节点体积小,且能自动组网,所以布局十分方便;又因其强调由大量的节点进行群体协作,网络具有很强的自愈能力,任何一个节点的失效都不会对整体任务的完成造成致命性影响,所以特别适合用来组建无线传感器网络。

用 ZigBee 技术来实现无线传感器网络,主要需要考虑通信节点的硬件设计,以及实现相应功能所必需的软件开发。基于 TI(德州仪器公司)的 CC2530 芯片在中国推广已经有好几年了,具备了实现 ZigBee 技术的各种底层硬件需求,是真正的一体化解决方案,完全符合 ZigBee 技术对节点“体积小”的要求,另外, TI 还提供了 ZStack 协议栈,尽可能地减轻了软件开发的工作量。

本书从实际出发,从简至难地解析用 ZigBee 技术开发无线传感器网络的各个要点,由浅入深地讲述如何开发具体的无线传感器网络系统。本教材通俗易懂,真正适合物联网零基础读者的学习。

本书从实际应用入手,由浅到深、循序渐进地诠释了物联网的相关概念、关键技术及应用,其中着重分析讲述了 CC2530 芯片的内部资源配置及使用方法,以实验过程和实验现象为主导,详细叙述了使用 C 语言对 CC2530 进行编程的方法,为读者详细分析 ZigBee 无线网络的实现及开发技巧,引导读者自己动手进行 ZigBee 无线网络项目实验。

本书不同于传统的物联网技术与应用书籍,本书中的所有例程均以实际硬件为依托,以

最新版的 ZigBee 协议栈为中心,用 C 语言进行软件设计,目的是让读者在各种 ZigBee 无线网络基础实验和 CC2530 无线数据收发应用模式实验中理解 ZigBee 协议栈,对 ZigBee 技术知其然,又能知其所以然,从而让读者在实际应用中彻底理解和掌握 ZigBee 技术。

本书内容共分为 4 部分,分别为基础篇、理论篇、入门篇和实践篇。

基础篇主要对物联网的概念、组成、发展做了概述,同时简单介绍了物联网中的关键技术和一些常用的物联网传感器及其特点,最后列举了物联网技术的典型应用。

理论篇主要对 CC2530 内部模块的 GPIO、外部中断、定时器、DMA、UART 等内部资源的设置及相关寄存器进行了讲解,同时在每节最后都提供了相关参考程序供读者参考和使用。

入门篇主要对 CC2530 的基本硬件结构进行介绍,同时对编辑软件的安装、应用,以及程序的烧写进行介绍。

实践篇设置了一系列实验,从最基础的无线控制 LED 实验开始到较复杂的 ZigBee 管理系统实验,从易到难,适合不同层次的读者进行递阶学习。同时,为了帮助读者能够清晰地理解程序的设计思路,在主要实验中都给出了相关的程序流程图,并在程序中标注了大量的注解。

本书由陕西科技大学的张开生编著,负责拟定编写教材大纲、设计内容框架、定稿。在编写过程中得到陕西科技大学电信学院研究生宫瑶、彭朋、张盟蒙、许萌、权思敏等在录入、排版、绘图、软件调试等方面的大力协助,在此一并表示感谢。为了使教材更具全面性、实用性,在编写过程中查阅并引用了大量的参考资料及文献,并选用了其中的一些实例,因篇幅有限,难以一一列举,在此,谨致衷心的感谢。

在编写过程中虽然做了很多力所能及的努力,但限于作者的水平,书中疏漏及不足之处在所难免,敬请广大读者批评指正,以便修订再版时得以改正提高。

本书适合作为电气信息类(如物联网、电气工程及其自动化、自动化、电子信息工程、通信工程、计算机科学与技术、电子科学与技术等)等专业的大学高年级学生和研究生必修或选修教材,以及嵌入式计算机方面的指导用书,也可以作为相关科技人员的指导用书。

书中所涉及相关文档电子版、PPT、实验板请联系 skdzks@163.com。

编者

2016 年 6 月

于陕西科技大学

基 础 篇

第 1 章 物联网技术简介	3
1.1 物联网概述	3
1.1.1 物联网基本概念	3
1.1.2 物联网概念的比较	4
1.2 物联网的发展过程	5
1.2.1 物联网的起源	5
1.2.2 物联网的现状	6
1.3 物联网的基本层次	6
1.3.1 感知层	6
1.3.2 传输层	8
1.3.3 应用层	8
1.4 物联网关键技术	8
1.4.1 感知与识别技术	8
1.4.2 节点软硬件设计技术	9
1.4.3 组网与泛在接入技术	9
1.4.4 大规模的感知信息处理技术	10
1.5 物联网架构	10
习题与思考	11
第 2 章 物联网关键技术	12
2.1 感知层技术	12
2.1.1 EPC 技术	12
2.1.2 RFID 技术	12
2.1.3 传感器技术	16
2.1.4 无线传感器网络技术	18
2.2 传输层——汇聚网技术	20
2.2.1 ZigBee 技术	20
2.2.2 蓝牙技术	24
2.2.3 Wi-Fi 技术	26
2.2.4 UWB 技术	28

2.3	传输层——网络接入技术	29
2.3.1	M2M 接入技术	29
2.3.2	6LoWPAN 技术	33
2.4	传输层——承载网技术	36
2.4.1	3G+WLAN	36
2.4.2	TD-SCDMA	37
2.4.3	光纤通信技术	37
	习题与思考	38
第3章	物联网用传感器	39
3.1	传感器工作原理	39
3.1.1	机械结构型传感器	39
3.1.2	物性型传感器	40
3.2	物联网中常用传感器	42
3.2.1	热学量传感器	42
3.2.2	密度和浓度传感器	47
3.2.3	光学量传感器	48
3.2.4	气体传感器	53
3.2.5	湿度传感器	56
3.2.6	生物量传感器	58
3.2.7	身份识别传感器和雷达	65
	习题与思考	71
第4章	物联网技术典型应用	72
4.1	物联网在物流行业的应用	72
4.2	物联网在医疗保健中的应用	76
4.3	物联网在智能交通中的应用	80
4.4	物联网在智能家居中的应用	84
4.5	物联网在智能电网中的应用	87
4.6	物联网在环保行业的应用	90
4.7	物联网应用新视野	91
4.7.1	车联网	91
4.7.2	人体感知网	92
	习题与思考	92
理 论 篇		
第5章	物联网系统解决方案	95
5.1	CC2530 内部结构	95

5.1.1	CPU 与内存	95
5.1.2	外部设备	97
5.1.3	无线电	98
5.2	MCS51 单片机	98
5.3	CPU 存储器	98
5.3.1	存储器映射	98
5.3.2	CPU 存储空间	99
5.3.3	物理存储器	100
5.3.4	XDATA 存储空间	106
5.3.5	存储器仲裁	106
5.4	CPU 寄存器	107
5.4.1	数据指针	107
5.4.2	寄存器 R0~R7	108
5.4.3	程序状态字	108
5.4.4	累加器	109
5.4.5	寄存器 B	109
5.4.6	堆栈指针	109
5.5	指令集综述	110
5.6	中断原理及相关设置	114
5.6.1	中断屏蔽	115
5.6.2	中断处理	117
5.6.3	中断优先级	120
5.6.4	应用示例	121
	习题与思考	123

第 6 章 调试接口、电源管理与闪存控制器

6.1	调试接口	124
6.1.1	调试模式	124
6.1.2	调试传输	124
6.1.3	锁位	125
6.1.4	调试配置	126
6.1.5	调试状态	128
6.1.6	硬件断点与闪存编程	129
6.1.7	调试接口与供电模式	129
6.1.8	调试寄存器	130
6.2	电源管理与时钟	130
6.2.1	电源管理	130
6.2.2	电源管理控制	132
6.2.3	电源管理寄存器	132

6.2.4	振荡器与时钟	133
6.3	复位	137
6.4	闪存控制器	138
6.4.1	闪存存储器组织	138
6.4.2	闪存写	138
6.4.3	闪存页面擦除	140
6.4.4	闪存 DMA 触发	140
6.4.5	闪存控制器的寄存器	141
	习题与思考	142
第 7 章	I/O 端口	143
7.1	未使用的 I/O 引脚	143
7.2	低 I/O 电压	143
7.3	通用 I/O	143
7.4	通用 I/O 中断	144
7.5	通用 I/O DMA	144
7.6	外设 I/O	145
7.7	调试接口	148
7.8	XOSC 输入	149
7.9	无线测试输出信号	149
7.10	掉电信号 MUX(PMUX)	149
7.11	I/O 引脚	149
7.12	应用示例	157
	习题与思考	161
第 8 章	DMA 控制器及操作	162
8.1	DMA 操作	162
8.2	DMA 配置参数	162
8.3	DMA 配置、传输与中断	165
8.4	DMA 配置数据结构与存储访问	166
8.5	DMA 寄存器	167
	习题与思考	169
第 9 章	定时器	170
9.1	定时器 1	170
9.1.1	计数器	170
9.1.2	通道模式控制	171
9.1.3	IR 信号的产生和线性化	174

9.1.4	定时器 1 中断与 DMA 触发	177
9.1.5	定时器 1 寄存器	177
9.1.6	应用示例	183
9.2	定时器 2	184
9.2.1	定时器操作	184
9.2.2	定时器 2 中断	186
9.2.3	事件输出(DMA 触发和 CSP 事件)	186
9.2.4	定时器启动/停止同步	186
9.2.5	定时器 2 寄存器	187
9.3	定时器 3 和定时器 4	191
9.3.1	位定时器计数器	191
9.3.2	定时器 3/定时器 4 模式控制	192
9.3.3	通道模式控制	192
9.3.4	定时器 3/4 中断与 DMA 触发	193
9.3.5	定时器 3 与定时器 4 寄存器	193
9.3.6	应用示例	198
9.4	睡眠定时器	199
9.4.1	定时器比较	199
9.4.2	定时器捕获	200
9.4.3	睡眠定时器寄存器	200
9.4.4	应用示例	203
9.5	看门狗定时器	205
9.5.1	看门狗模式	206
9.5.2	定时器模式	206
9.5.3	看门狗定时器寄存器	206
9.5.4	应用示例	207
	习题与思考	209

第 10 章 模数转换器、随机数发生器与 AES 协处理器 210

10.1	ADC 模数转换	210
10.1.1	ADC 操作	211
10.1.2	ADC 寄存器	213
10.2	随机数发生器	215
10.2.1	随机数发生器的运行	216
10.2.2	随机数发生器的寄存器	217
10.3	AES 协处理器	217
10.3.1	AES 操作	217
10.3.2	密钥和 IV	218

10.3.3	协处理器与 CPU 通信	218
10.3.4	运行模式	218
10.3.5	AES DMA 触发	221
10.3.6	AES 寄存器	221
	习题与思考	222
第 11 章	UART 与 USB 接口	223
11.1	UART 模式	223
11.1.1	UART 发送	223
11.1.2	UART 接收	223
11.1.3	UART 硬件流控制	224
11.1.4	UART 特征格式	224
11.1.5	SPI 模式	224
11.1.6	SSN 从模式选择引脚	225
11.1.7	波特率的产生	225
11.1.8	清除 USART	226
11.1.9	USART 中断	226
11.1.10	USART DMA 触发	226
11.1.11	USART 寄存器	227
11.1.12	应用示例	231
11.2	USB	235
11.2.1	USB 的使能与中断	236
11.2.2	端口 0	237
11.2.3	端口 1~5	239
11.2.4	DMA	242
11.2.5	USB 复位	242
11.2.6	挂起与恢复	243
11.2.7	远程唤醒	243
11.2.8	USB 寄存器	243
	习题与思考	250
第 12 章	CC2530 相关无线通信技术	251
12.1	RF 内核	251
12.1.1	RF 收发器中断相关	251
12.1.2	中断寄存器	251
12.2	FIFO 访问	255
12.3	RF 内核的 DMA 触发	255
12.4	存储器映射	255

12.4.1	RXFIFO	256
12.4.2	TXFIFO	256
12.4.3	帧过滤和源匹配存储器映射	256
12.5	频率和通道编程	257
12.6	IEEE 802.15.4—2006 调制格式	258
12.7	IEEE 802.15.4—2006 帧格式	259
12.8	发送模式	260
12.9	接收模式	264
12.9.1	RX 控制	264
12.9.2	RX 状态时序	265
12.9.3	帧处理	265
12.9.4	同步头和帧长度域	265
12.9.5	帧过滤	266
12.9.6	源地址匹配	269
12.9.7	帧校验序列	271
12.9.8	确认传输	271
12.10	RXFIFO 访问	273
12.10.1	使用 FIFO 和 FIFOP	274
12.10.2	错误情况	275
12.10.3	RSSI	275
12.10.4	链路质量指示	275
12.11	无线电控制状态机制	275
12.12	随机数的产生	277
12.13	数据包分析器和无线电测试输出信号	278
12.14	命令选通/CSMA-CA 处理器	278
12.14.1	指令存储器	279
12.14.2	数据寄存器	279
12.14.3	中断请求	280
12.14.4	随机数指令	280
12.14.5	运行 CSP 程序	280
12.14.6	寄存器	280
12.14.7	指令集综述	281
12.14.8	指令集定义	283
12.15	寄存器一览表	295
12.15.1	寄存器设置更新	296
12.15.2	寄存器访问模式	296
12.15.3	寄存器描述	297

习题与思考	316
-------------	-----

人 门 篇

第 13 章 SUST-EB2530 硬件原理与结构	319
13.1 功能特点	319
13.2 管脚信息	320
13.3 硬件原理	320
13.3.1 SUST-EB2530 PACK 板原理图	320
13.3.2 SUST-EB2530 底板原理图	320
13.4 硬件结构	322
13.4.1 元件布局图	322
13.4.2 开发板使用说明	322
第 14 章 ZigBee 开发平台的构建	326
14.1 实验介绍与准备工作	326
14.2 IAR 集成开发环境介绍	327
14.3 IAR Embedded Workbench 的安装	327
14.4 新建工程与工程设置	331
14.4.1 建立一个新的工程	331
14.4.2 建立一个源文件	332
14.4.3 添加源文件到工程	332
14.4.4 编写代码	334
14.4.5 工程的设置	335
14.4.6 编译工程	341
14.5 安装 SmartRF Flash Programmer 和仿真器	341
14.6 程序仿真与调试	345
14.7 安装 USB 转串口驱动	345
14.8 安装 ZStack-CC2530-2.3.0-1.4.0/2.5.1.a 协议栈	346
习题与思考	347

实 践 篇

实验 1 BasicRF 无线点控 LED 实验	351
习题与思考	354
实验 2 无线传输质量检测实验	355
习题与思考	357

实验 3 无线收发控制 LED 实验	358
习题与思考	370
实验 4 协议栈中串口基础实验	371
习题与思考	375
实验 5 广播组网——无线数据传输实验	376
习题与思考	383
实验 6 组播——多终端控制协调器 LED 实验	384
习题与思考	389
实验 7 点播通信——无线通信实验	390
习题与思考	397
实验 8 DS18B20 温度传感器数据采集实验	398
习题与思考	406
实验 9 DHT11 温湿度传感器数据采集实验	407
习题与思考	413
实验 10 气体浓度数据采集实验	414
习题与思考	418
实验 11 光敏和热敏传感器数据采集实验	419
习题与思考	422
实验 12 红外热释电传感器数据采集实验	423
习题与思考	427
实验 13 按键无线点控台灯实验	428
习题与思考	433
实验 14 串口透传——无线 QQ 实验	434
习题与思考	441
实验 15 基于 GenericApp 无线收发实验	442
习题与思考	449

实验 16 新建一个自己的 Z-Stack 工程实验	450
习题与思考	453
实验 17 协议捕捉与分析实验	454
习题与思考	457
实验 18 SUST-EB2530 路由器编译实验	458
习题与思考	462
实验 19 协议栈读 MQ-2 浓度模拟量实验	463
习题与思考	466
实验 20 协议栈读光敏光强模拟量实验	467
习题与思考	468
实验 21 协议栈 RFID 射频卡实验	469
习题与思考	470
实验 22 ZigBee 管理系统实验	471
附录 A 开发板图	474
附录 B 硬件原理图	475
附录 C 网络层所定义的特性常量	484
附录 D 常用术语英汉对照表	488
参考文献	493

基础篇

与互联网相同，物联网也诞生于人类历史上数一数二的金融危机时，在人们热切关注新能源行业发展时，物联网逐渐成为人们眼中的“救世主”，这不得不让人们再一次相信：科学技术的每一次突飞猛进的发展都不是偶然的技术的进步，而是与国民经济发展情况和国家发展战略紧密相关的。本篇从基础知识入手，从以下4个方面介绍物联网的相关知识、技术、传感器及应用。

(1) 从物联网的基本概念、发展过程、基本层次、关键技术及物联网架构5个方面进行介绍，让读者初步了解物联网的概念及发展过程，对其相关技术及架构有一个全局的认识；

(2) 详细讲解物联网的关键技术，首先对感知层技术进行讲解，接着讲解传输层的汇聚网技术、网络接入技术及承载网技术，使读者了解无线传感网络的特点及物联网传输层的组成；

(3) 主要讲解物联网用传感器，对物联网中常用传感器的基本原理、相关技术、性能特点进行讲解，使读者对物联网用传感器有了感性的认识，为后续合理地使用相关传感器创造了条件；

(4) 主要讲解物联网的典型应用案例，对未来物联网在车联网方面的发展及在人体感知网方面的发展进行了分析说明，开阔了读者在物联网应用方面的新视野。

