



计算机类专业“十三五”规划教材

ZigBee无线传感器网络 设计实战

主编 高磊磊



航空工业出版社

计算机类专业“十三五”规划教材

ZigBee 无线传感器 网络设计实战

主编 高磊磊

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

本书以任务驱动方式介绍了 CC2530 单片机开发和 ZigBee 协议栈开发的基础知识, 主要内容包括搭建 ZigBee 开发环境、CC2530 单片机基础开发和进阶开发、ZigBee 无线网络入门和提高、ZigBee 无线网络串口应用、ZigBee 无线网络管理、ZigBee 无线网络综合实战等。

本书可作为物联网应用技术、计算机相关专业的教材, 也可供单片机开发、ZigBee 技术开发、无线传感器网络应用等工程技术人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

ZigBee 无线传感器网络设计实战 / 高磊磊主编. —
北京: 航空工业出版社, 2017. 7
ISBN 978-7-5165-1243-2

I. ①Z… II. ①高… III. ①无线电通信—传感器—
网络设计 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 160199 号

ZigBee 无线传感器网络设计实战

ZigBee Wuxian Chuanganqi Wangluo Shejishizhan

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑 2 号院 100012)

发行部电话: 010-84936597 010-84936343

北京谊兴印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2017 年 7 月第 1 版

2017 年 7 月第 1 次印刷

开本: 787×1092

1/16

印张: 18

字数: 405 千字

印数: 1—2000

定价: 49.80 元



前言

物联网产业已经成为继计算机与互联网后席卷全球的又一次信息产业革命浪潮。我国也已明确将物联网列为国家战略新兴产业。但是物联网应用技术专业作为教育部新设立的专业,相比其他成熟的学科教育教学资源相当匮乏,大多数院校普遍面临缺教材、缺设备、缺专业教师的现象。

虽然现在国内有很多书籍介绍 ZigBee 无线传感器网络,但是大多数书籍主要涉及 ZigBee 无线传感器网络的体系结构、路由算法、拓扑结构、QoS 等,这些知识主要是从理论上对 ZigBee 无线传感器网络进行的讲解,有很多读者学习了上述理论仍然无法搭建一个 ZigBee 无线传感器网络。

因此,本书的做法是先搭建一个 ZigBee 无线传感器网络,在实训中涉及到什么知识点就讲解相关的理论知识,这样读者既能快速地掌握 ZigBee 无线传感器网络开发的方法,同时又能在实践中掌握相关的理论知识。

本书内容

本书主要有两大块内容:CC2530 单片机开发和 ZigBee 协议栈开发。其中,CC2530 单片机开发采用以实践为主、理论为辅、实践与理论相结合的方式,深入浅出地讲解了 CC2530 开发板的开发与应用,从而提高读者的实际动手能力。

ZigBee 协议栈开发将 CC2530 开发板与 Z-Stack 协议栈结合起来,讲解 Z-Stack 协议栈的开发与应用,为读者解析用 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。

本书特色

全书以贯穿项目为主导,注重实践,将各个知识点分解,便于读者更深刻地理解和

掌握 ZigBee 软硬件的开发与应用。

在内容编排上,本书基于项目进行教学单元的设计,每一章的内容都是以项目的形式呈现,把知识点融于每一个典型的工程项目中,每一个实训项目都是按照“实训简介→实训目的→实训内容→知识链接→实施步骤→成果检验→自我考核”的顺序安排的。任务驱动、层次分明,非常适合“理论+实践”的教学模式。

内容概述

本书共分为 8 章内容,具体如下:

- 第 1 章 搭建 ZigBee 开发环境 本章包含 4 个实训项目,主要讲述 IAR 的安装与配置,工程的新建与调试,ZigBee 实训所用到的设备介绍以及 CC2530 开发板的电路图。
- 第 2 章 CC2530 单片机基础开发 本章主要讲解基于 CC2530 单片机开发的基础知识,兼顾通用单片机开发所需的基础知识,相关的知识点贯穿在 4 个典型的实训项目中。
- 第 3 章 CC2530 单片机进阶开发 本章主要进一步讲解 CC2530 开发板开发,提高 CC2530 单片机开发能力。
- 第 4 章 ZigBee 无线网络入门 本章主要讲解 ZigBee 基础知识及应用,详细介绍了协议栈的安装和工作原理,通过两个案例详细讲解了基于协议栈的程序开发。
- 第 5 章 ZigBee 无线网络提高 本章通过无线数据发送和接收、无线点灯这两个实训讲解了与 ZigBee 无线通信相关的基础知识。
- 第 6 章 ZigBee 无线网络串口应用 本章主要介绍了协议栈串口的使用,通过 3 个实训项目详细讲解了串口的应用。
- 第 7 章 ZigBee 无线网络管理 本章主要介绍了 ZigBee 无线网络的通信方式:单播、广播和组播通信,以及如何获取无线网络的拓扑结构。
- 第 8 章 ZigBee 无线网络综合实战 本章通过一个综合案例,展示了根据前面所学知识如何开发一个真实的物联网应用场景。

适用范围

本书可作为物联网应用技术、计算机相关专业的教材,也可供单片机开发、ZigBee 技术开发、无线传感器网络应用等工程技术人员参考。

不同层次院校可根据开设课程的学习深度，参照下表具体安排教学学时。

章 节	分配学时
第 1 章 搭建 ZigBee 开发环境	8
第 2 章 CC2530 单片机基础开发	8
第 3 章 CC2530 单片机进阶开发	8
第 4 章 ZigBee 无线网络入门	6
第 5 章 ZigBee 无线网络提高	8
第 6 章 ZigBee 无线网络串口应用	12
第 7 章 ZigBee 无线网络管理	16
第 8 章 ZigBee 无线网络综合实战	6

本书由高磊磊任主编，贾珺、蔡姗姗任副主编，参加编写的还有魏宁。由于编者水平有限，书中错误之处在所难免，恳请各位读者批评指正。

本书在编写过程中参考了大量的相关文献与资料，在此向相关作者表示感谢，同时感谢深圳市讯方技术股份有限公司给予的大力支持。

本书配有优质教学资源包，读者可从网站（<http://www.bjjqe.com>）下载。

编 者
2017 年 6 月



目 录

第 1 章 搭建 ZigBee 开发环境.....1

实训 1-1 安装 IAR 软件和硬件驱动.....2

实训简介.....2

实训目的.....2

实训内容.....2

知识链接.....2

1. 物联网.....2

2. 无线传感器网络.....5

3. ZigBee 技术.....6

4. ZigBee 与 CC2530 芯片的关系.....9

5. IAR 软件开发环境.....10

实施步骤.....11

1. 安装 IAR 软件.....11

2. 常用驱动的安装.....14

成果检验.....18

自我考核.....18

实训 1-2 新建与调试 ZigBee 工程.....18

实训简介.....18

实训目的.....19

实训内容.....19

知识链接.....19

用 IAR 创建工程的基本流程.....19

实施步骤.....20

1. 打开 IAR 软件.....20

2. 新建工程.....21

3. 添加源文件到工程.....21

4. 设置工程.....23

5. 编译程序.....26

6. 下载与调试程序.....27

成果检验.....28

自我考核.....28

实训 1-3 认识 ZigBee 实训设备.....28

实训简介.....28

实训目的.....28

实训内容.....29

实训设备.....29

1. ZigBee 开发板硬件介绍.....29

2. 硬件连接图.....31

3. 串口调试工具.....32

知识链接.....33

关于 IAR 软件找不到仿真器的问题.....33

注意事项.....35

自我考核.....35

实训 1-4 学习 ZigBee 开发板电路.....35

实训简介	35	2. 实训部分代码解析	55
实训目的	36	成果检验	62
实训内容	36	自我考核	62
知识链接	36	实训 2-3 配置外部中断	62
1. CC2530 芯片简介	36	实训简介	62
2. ZigBee 开发板电路	37	实训目的	63
自我考核	38	实训内容	63
第 2 章 CC2530 单片机基础开发	39	知识链接	63
实训 2-1 通用数字接口控制	40	1. 通用 I/O 中断	63
实训简介	40	2. 中断配置	64
实训目的	40	实施步骤	64
实训内容	40	1. 实训源码	64
知识链接	40	2. 实训部分代码解析	66
1. CC2530 芯片的引脚	40	成果检验	70
2. 未使用的 I/O 引脚	41	自我考核	70
3. 低 I/O 电压	42	实训 2-4 配置定时器	71
4. 通用 I/O	42	实训简介	71
5. 通用 I/O 中断	43	实训目的	71
实施步骤	44	实训内容	71
1. 实训源码	44	知识链接	71
2. 实训部分代码解析	46	1. 定时器简介	71
成果检验	51	2. 16 位计数器	72
自我考核	51	3. 定时器 1 的操作	73
实训 2-2 配置时钟	51	实施步骤	74
实训简介	51	1. 实训源码	74
实训目的	51	2. 实训部分代码解析	76
实训内容	51	成果检验	79
知识链接	52	自我考核	79
1. 振荡器	52	第 3 章 CC2530 单片机进阶开发	81
2. 系统时钟	52	实训 3-1 看门狗应用	82
3. 32 kHz 振荡器	53	实训简介	82
实施步骤	53	实训目的	82
1. 实训源码	53	实训内容	83

知识链接	83
1. 看门狗模式	83
2. 定时器模式	83
实施步骤	84
1. 实训源码	84
2. 实训部分代码解析	86
成果检验	88
自我考核	88
实训 3-2 串口通信	89
实训简介	89
实训目的	89
实训内容	89
知识链接	89
1. UART 发送	90
2. UART 接收	90
3. UART 特征格式	90
4. USART 寄存器	91
实施步骤	91
1. 实训源码	91
2. 实训部分代码解析	94
成果检验	101
自我考核	101
实训 3-3 ADC 单次采样	102
实训简介	102
实训目的	102
实训内容	102
知识链接	102
1. ADC 输入	103
2. ADC 转换序列	103
3. 单个 ADC 转换	103
4. ADC 运行模式	104
5. ADC 转换结果	104
6. ADC 参考电压	105
7. ADC 转换时间	105
8. ADC 中断	105
实施步骤	105
1. 实训源码	105
2. 实训部分代码解析	109
成果检验	113
自我考核	114
实训 3-4 采集温度信息	114
实训简介	114
实训目的	115
实训内容	115
知识链接	115
片上温度传感器的温度计算方法	115
实施步骤	116
1. 实训源码	116
2. 实训部分代码解析	121
成果检验	121
自我考核	121
第 4 章 ZigBee 无线网络入门	123
实训 4-1 协议栈的安装和使用	124
实训简介	124
实训目的	124
实训内容	124
知识链接	124
1. Z-Stack 协议栈简介	124
2. 如何使用 Z-Stack 协议栈	125
3. ZigBee 的无线数据传输网络	125
实施步骤	126
成果检验	129
自我考核	129
实训 4-2 协议栈工作原理	129
实训简介	129
实训目的	130
实训内容	130

知识链接	130	2. 信道	157
1. Z-Stack 协议栈的根目录	130	3. PANID	158
2. Z-Stack 协议栈的结构	130	4. AF_DataRequest 函数参数详解	158
实施步骤	131	5. 节点的配置信息	159
协议栈工作原理解析	131	实施步骤	160
自我考核	142	成果检验	167
实训 4-3 协议栈控制 LED	142	自我考核	167
实训简介	142	实训 5-2 无线点灯	168
实训目的	142	实训简介	168
实训内容	143	实训目的	168
知识链接	143	实训内容	168
Z-Stack 之 LED 驱动	143	知识链接	168
实施步骤	144	1. 按键初始化	168
成果检验	150	2. key 配置函数	169
自我考核	150	3. 按键读取键值函数	171
实训 4-4 协议栈按键控制 LED	150	4. 按键查询函数	172
实训简介	150	5. 中断方式的按键中断函数	173
实训目的	151	6. 按键注册	174
实训内容	151	7. 按键处理流程	175
知识链接	151	8. 功能实现流程图	176
1. 轮询	151	实施步骤	177
2. 中断	151	成果检验	183
3. 中断与轮询的区别	151	自我考核	183
实施步骤	152	第 6 章 ZigBee 无线网络串口应用	185
成果检验	154	实训 6-1 协议栈串口收发基础	186
自我考核	154	实训简介	186
第 5 章 ZigBee 无线网络提高	155	实训目的	186
实训 5-1 无线数据发送和接收	156	实训内容	186
实训简介	156	知识链接	187
实训目的	156	1. 串口初始化	187
实训内容	156	2. 串口读写数据	187
知识链接	157	3. 回调函数	187
1. 设备类型	157	实施步骤	188

成果检验	190	实施步骤	219
自我考核	191	成果检验	226
实训 6-2 协议栈串口应用扩展	191	自我考核	227
实训简介	191	实训 7-2 无线网络通信实训 2——	
实训目的	191	组播通信	227
实训内容	191	实训简介	227
知识链接	192	实训目的	227
1. 串口初始化	192	实训内容	227
2. 串口注册	195	知识链接	229
3. 串口接收数据	195	组播的表示方式	229
4. 串口发送数据	195	实施步骤	229
5. 串口工作流程	195	成果检验	237
实施步骤	196	自我考核	237
成果检验	202	实训 7-3 无线网络管理基础实训	237
自我考核	202	实训简介	237
实训 6-3 协议栈无线温度检测	203	实训目的	238
实训简介	203	实训内容	238
实训目的	203	知识链接	239
实训内容	203	1. ZigBee 网络中的设备地址	239
知识链接	204	2. ZigBee 网络中设备地址的标识	239
数据包的结构体定义	204	3. ZigBee 无线网络中的地址分配	
实施步骤	205	机制	240
成果检验	212	4. 查询本节点有关的设备地址的	
自我考核	213	函数	242
第 7 章 ZigBee 无线网络管理	215	实施步骤	242
实训 7-1 无线网络通信实训 1——		成果检验	248
广播通信	216	自我考核	249
实训简介	216	实训 7-4 获取无线网络的拓扑	
实训目的	216	结构	249
实训内容	216	实训简介	249
知识链接	217	实训目的	249
1. ZigBee 协议栈通信方式的实现	217	实训内容	250
2. 广播通信时的网络地址选择	219	知识链接	251
		自定义数据结构	251

实施步骤	252
成果检验	259
自我考核	261

第 8 章 ZigBee 无线网络综合实战 263

实训 8-1 无线网络数据采集综合应用	264
实训简介	264
实训目的	264
实训内容	265

知识链接	265
------------	-----

1. 温度传感器	265
2. 湿度传感器	266
3. 光敏传感器	266
4. 火焰传感器	267
5. 人体红外传感器	267

实施步骤	268
------------	-----

成果检验	274
------------	-----

参考文献	275
------------	-----

CHAPTER 1

第 1 章

搭建 ZigBee 开发环境

作为一种与蓝牙、Wi-Fi 齐名的短距离无线通信技术，ZigBee 具有功耗低、成本低、安全性好、网络容量大、工作频段灵活等优点，广泛应用于工业控制、智能家居、医疗护理、智能农业、智能物流、城市交通、消费电子等领域。本章将通过 4 个实训，介绍 ZigBee 开发环境的搭建方法及相关基础知识。



本章主要内容

- 物联网、无线传感器网络与 ZigBee 的关系
- ZigBee 开发所用的软硬件平台
- IAR 软件和仿真器驱动的安装
- ZigBee 开发所用的硬件设备、连接方法及其电路原理图

实训 1-1 安装 IAR 软件和硬件驱动

实训简介

本书要用到的 IAR 软件即 IAR Embedded Workbench for 8051，它是 ZigBee 的软件开发环境，通过它可以编写和调试程序，并将程序下载到 ZigBee 硬件（如 CC2530 芯片）中去，进而实现各种应用。本实训主要介绍 IAR 软件和硬件驱动的安装方法。

实训目的

- (1) 掌握 IAR 软件的安装方法。
- (2) 掌握仿真器驱动和 USB 转串口驱动的安装方法。

实训内容

- (1) IAR 软件的安装。
- (2) 各种硬件驱动的安装。
- (3) 软件安装结果的验证。

知识链接

1. 物联网

物联网（Internet of Things），是指通过二维码识读设备、射频识别（RFID）装置、红外感应器、全球定位系统和激光扫描器等信息传感设备，按约定的协议，把任何物体与互联网相连接，进行信息交换和通信，以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种网络。



知识库

物联网的概念包含两层意思：一，物联网的核心和基础仍然是互联网，它是在互联网基础上延伸和扩展的网络；二，其用户端延伸和扩展到了任何物体与物体之间，进行信息交换和通信。简而言之，物联网就是“物物相连的互联网”。在这个网络中，物体之间能够彼此进行“交流”，而无需人工干预。

如今，物联网与各个行业不断融合，行业应用稳步发展，并蕴含巨大空间，如图 1-1 所示。

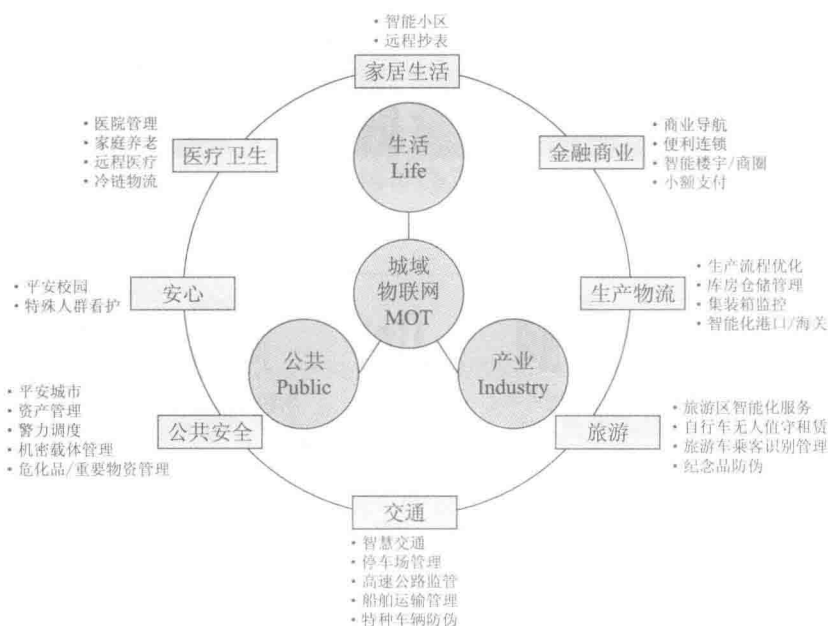


图 1-1 物联网应用示意图

从市场应用来看，占据中国物联网市场主要份额的领域为智能工业、智能物流、智能交通、智能电网、智能医疗、智能农业、智能环保和智能家居。其中，智能工业占比最大。

- **智能工业**：生产过程控制、制造供应链跟踪、生产环境监测、安全生产、产品质量检测等。
- **智能物流**：库存监控、物品识别、配送管理、包装管理、装卸管理、安全追踪等。
- **智能交通**：车辆定位与调度、交通状况感知、交通智能化管控、车路协同控制等。
- **智能电网**：远程抄表、电力设施监测、智能用电、智能调度、配网自动化等。
- **智能医疗**：心电监护、用药提醒、药品流通、远程探视、应急指挥等。
- **智能农业**：自动灌溉、自动施肥、自动喷药、异地监控、养殖环境监测等。
- **智能环保**：空气监测、水质监测、土壤监测、污染源监控、垃圾清运管理等。
- **智能家居**：照明控制、家电控制、室内外遥控、门禁控制、防盗报警等。

从技术架构上看，物联网可以分为 3 层，即感知层、网络层和应用层，如图 1-2 所示。

- **感知层**：位于最底层，相当于人体的皮肤和五官。它利用 RFID、摄像头、传感器、GPS、二维码等随时随地识别和获取物体的信息。
- **网络层**：位于中间层，相当于人体的神经中枢和大脑。它通过移动通信网络与互联网的融合，将物体的信息实时准确地传递出去。

- **应用层**：位于最顶层，相当于人的社会分工。它与行业需求相结合，对感知层得到的信息进行处理，实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理等实际应用。



图 1-2 物联网架构示意图

感知层是物联网发展和应用的基础，解决的是人类世界和物理世界的的数据获取问题。它实际上包含了数据采集和数据短距离传输两个过程，即首先通过传感器、摄像头等设备采集外部物理世界的的数据，然后通过 ZigBee、蓝牙、Wi-Fi、工业现场总线等短距离无线或有线通信技术进行协同工作，或者传递数据到网关设备。

提示

感知层涉及的关键技术主要包括传感器技术、物品标识技术（条形码、二维码、RFID）、短距离无线通信技术（ZigBee、蓝牙、Wi-Fi 等）。

传感器：一种检测装置，作为物联网摄取信息的关键器件，它能感受到被测的信息，并能将检测到的信息按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。

二维码：又称二维条码，可以看作是条形码的升级，是一种用某种特定几何图形按

一定规律在平面（二维方向上）分布的黑白相间图形，它能够把文字、图像、音频、视频等“编码”成一个图像。

RFID：即射频识别技术，是一种利用射频信号通过空间电磁耦合实现无接触的信息传递，并通过所传递的信息自动识别目标对象的技术。

在感知层，传感器、条形码、二维码、RFID、智能装置、通信模块等设备组成了一个无线传感器网络，该网络负责将采集的数据传送至网络层。无线传感器网络在整个物联网架构中扮演着非常重要的角色，它好比是人体中的神经末端感知系统。

2. 无线传感器网络

无线传感器网络（Wireless Sensor Network，WSN），是由部署在监测区域内的大量传感器节点（即微型传感器）通过无线通信方式（ZigBee、蓝牙、Wi-Fi 等）形成的自组织网络，其目的是感知、采集和处理网络覆盖区域中被感知对象的信息（如温度、湿度、光强、气体浓度等），并发送给观察者。

提示

传感器、被感知对象和观察者是构成无线传感器网络的3个基本要素。这3个基本要素之间通过无线网络建立通信路径，协作地感知、采集、处理和发布感知信息。

在无线传感器网络中，传感器节点具有端节点和路由的功能：首先是实现数据的采集和处理；其次是实现数据的融合和路由，综合本身采集的数据和收到的其他节点发送的数据，转发到其他网关节点。

简单说，无线传感器网络的基本功能就是将一系列空间分散的传感器节点通过自组织的无线网络进行连接，从而将各自采集的数据通过无线网络进行传输汇总，以实现对空间分散范围内的物理或环境状况的协作监控，并根据这些信息进行相应的分析和处理。

与传统的自组织类型网络一样，无线传感器网络具有分布控制、无中心和多跳传输等特点，但它集成了监测、控制和无线通信等功能，还具有如下一些主要特点：

- （1）节点数量更加庞大，节点分布更加密集（密集部署在感知对象附近或内部）。
- （2）由于环境影响和能量耗尽，节点更容易出现故障。
- （3）环境干扰和节点故障易造成网络拓扑结构的变化。
- （4）要控制网络整体成本，就必须降低单个节点的成本，这就使得某些传感器节点具有的能量、处理能力、存储能力和通信能力等都十分有限。
- （5）无线传感器网络以数据为中心，其核心是感知数据而不是网络硬件，因此传感器节点可以随机部署，无需标识位置。通常情况下，大多数传感器节点是固定不动的。