



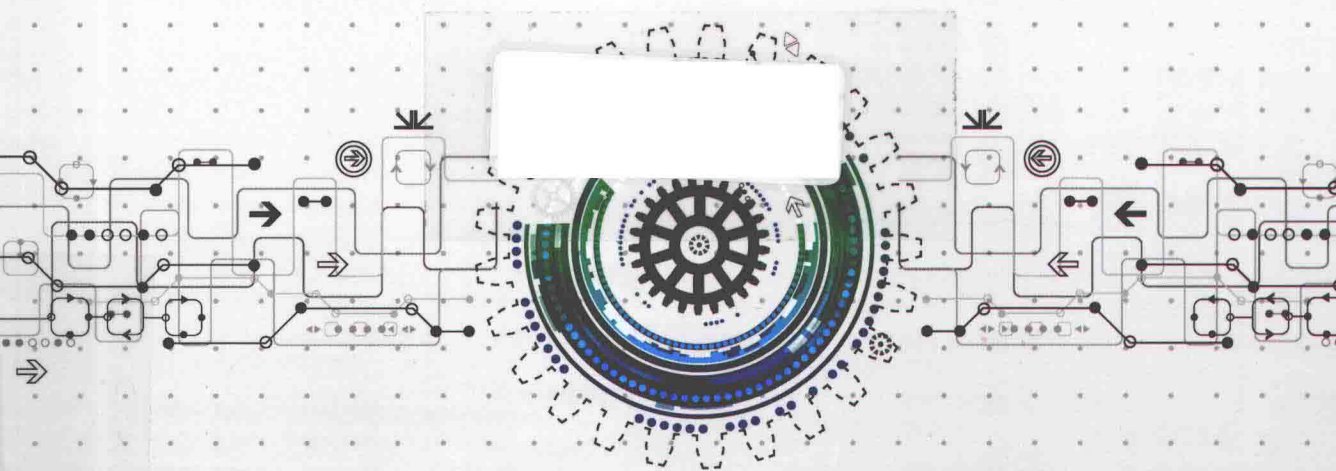
“在实践中成长”丛书

ZigBee 技术开发

CC2530 单片机原理及应用

QST青软实训 编著

- 涵盖单片机、射频基础知识
- 传感器信息采集项目贯穿全书
- 软硬件相结合，注重内容和实践
- 知识点从入门到精通层层强化



清华大学出版社

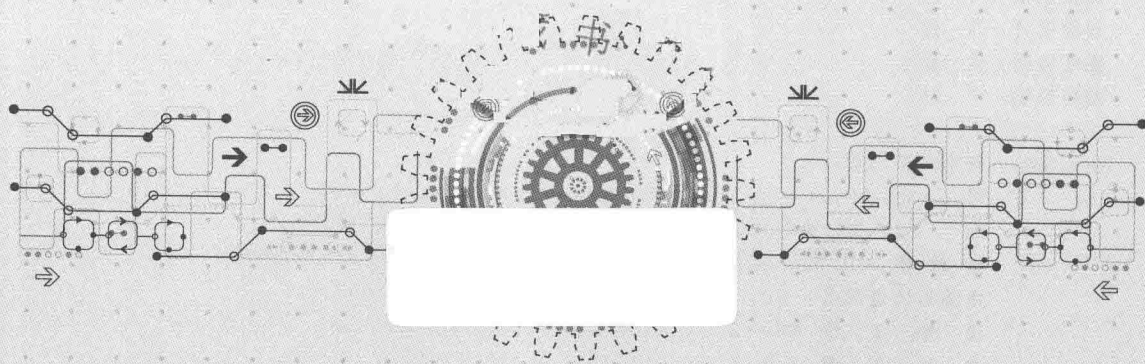


“在实践中成长”丛书

ZigBee 技术开发

CC2530 单片机原理及应用

QST青软实训 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书从 ZigBee 技术硬件资源出发,主要讲解支撑 ZigBee 技术的核心芯片 CC2530 的开发与应用。全书共分为 6 章,第 1 章为 ZigBee 技术概述,主要讲解 ZigBee 基础知识及应用,介绍了常用的 ZigBee 芯片和协议栈;第 2 章为开发环境,讲解了 CC2530 开发的软硬件环境,以及调试方法;第 3 章为硬件设计,讲解了硬件设计方法及开发板的使用;第 4 章为 CC2530 基础开发,讲解了通用 I/O、振荡器和时钟的设置、ADC 的采集的使用;第 5 章为 CC2530 进阶开发,讲解了 CC2530 串口、DMA、定时器使用;第 6 章为 CC2530 无线射频,主要讲解了 CC2530 的无线发送和接收。

本书使用实践为主、理论为辅、实践与理论相结合的方式,深入浅出地讲解了 CC2530 的开发与应用,以期全面提高读者的实际动手能力。本书既适合作为高等院校物联网工程、通信工程、电子信息工程、自动化等专业相关课程的教材,也适合作为 ZigBee 技术开发者的参考书。

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

ZigBee 技术开发: CC2530 单片机原理及应用/QST 青软实训编著. —北京: 清华大学出版社, 2015
 (“在实践中成长”丛书)

ISBN 978-7-302-40072-1

I. ①Z… II. ①Q… III. ①单片微型计算机—教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 089666 号

责任编辑: 刘 星 李 晔

封面设计: 刘 键

责任校对: 梁 毅

责任印制: 宋 林

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 刷 者: 三河市君旺印务有限公司

装 订 者: 三河市新茂装订有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 13.25 字 数: 331 千字

版 次: 2015 年 6 月第 1 版 印 次: 2015 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 1~2000

定 价: 39.00 元

当今 IT 产业发展迅猛,各种技术日新月异,在发展变化如此之快的年代,学习者已经变得越来越被动。在这种大背景下,如何快速地学习一门技术并能够做到学以致用,是很多人关心的问题。一本书、一堂课只是学习的形式,而真正能够达到学以致用目的的则是融合在书及课堂上的学习方法,使学习者具备学习技术的能力。

QST 青软实训自 2006 年成立以来,培养了近 10 万 IT 人才,相继出版了“在实践中成长”丛书,该丛书销售量已达到 3 万册,内容涵盖 Java、.NET、嵌入式、物联网以及移动互联网等多种技术方向。从 2009 年开始,QST 青软实训陆续与 20 多所本科院校共建专业,在软件工程专业、物联网工程专业、电子信息科学与技术专业、自动化专业、信息管理与信息系统专业、信息与计算科学专业中共建了软件外包方向、移动互联网方向、嵌入式方向、集成电路方向以及物联网方向等。截止到 2014 年,QST 青软实训共建专业的在校生数量已达到 6000 人,并成功地将与 IT 企业技术需求接轨的 QST 课程产品组件及项目驱动的教学方法融合到高校四年的教学中,与高校共同培养理论基础扎实、实践能力强、符合 IT 企业要求的人才。

一、“在实践中成长”丛书介绍

2014 年,QST 青软实训对“在实践中成长”丛书进行全面升级,保留原系列图书的优势,并在技术上、教学和学习方法上进行优化升级。这次出版的“在实践中成长”丛书由 QST 青软实训联合高等教育的专家、IT 企业的行业及技术专家共同编写,既涵盖新技术及技术的升级,同时又融合了 QST 青软实训自 2009 年深入到高校四年教育中所总结的 IT 技术学习方法及教学方法。“在实践中成长”丛书即将出版的图书包括:

- 《Java 8 基础应用与开发》
- 《Java 8 高级应用与开发》
- 《Oracle 数据库应用与开发》
- 《Java Web 技术及应用》
- 《Web 前端设计与开发——HTML+CSS+JavaScript+HTML5+jQuery》
- 《Java 企业轻量级框架应用与开发——S2SH》
- 《Android 程序设计与开发》
- 《Linux 操作系统》
- 《ZigBee 技术开发——CC2530 单片机原理及应用》
- 《Zigbee 技术开发——Z-Stack 协议栈原理及应用》
- 《ARM 体系结构与接口技术——基于 ARM11 S3C6410》
- 《Linux 应用程序开发》
- 《嵌入式图形界面开发》

- 《PCB 电路设计》
- 《Altium Desiyner 原理图设计与 PCB 制作》

二、“在实践中成长”丛书创新点及优势

1. 面向学习者

以一个完整的项目贯穿技术点,以点连线、多线成面,通过项目驱动学习方法使学习者轻松地将技术学习转化为技术能力。

2. 面向高校教师

为教学提供完整的课程产品组件及服务,满足高校教学各个环节的资源支持。

三、为读者提供的资源及服务

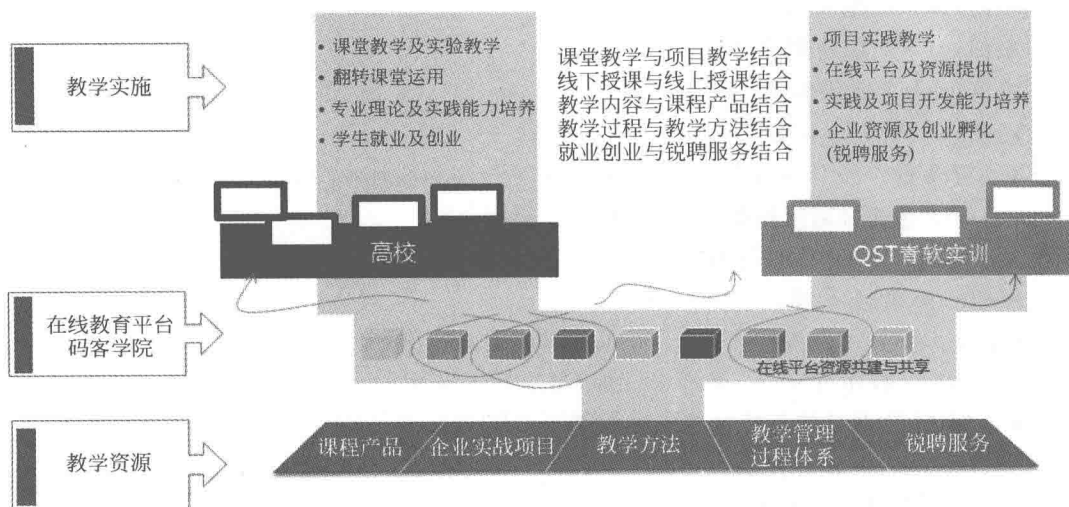
读者购买本书后,可以前往 QST 青软实训在线教育平台“码客学院”www.moocollege.cn 免费下载以下配套资源:

- 教学大纲
- 教学 PPT
- 示例源代码
- 考试大纲

读者可以直接联系 QST 青软实训,我们将为读者提供专业的教育资源及服务,包括:

- 实验手册及实验项目源代码;
- 课程实训手册及实训项目源代码;
- 在线平台视频课程,线上线下互动学习体验;
- 丰富的在线题库及在线考试;
- 基于大数据的多维度“IT 基础人才能力成熟度模型(ITBCMMI)”分析;
- 基于透明计算的全实战演练环境;
- 基于 O2O 模式的泛 IT 领域在线教育及企业定制人才培养平台。

QST 青软实训为高校提供了基于 O2O 模式的专业共建解决方案及服务模式,如下图所示:

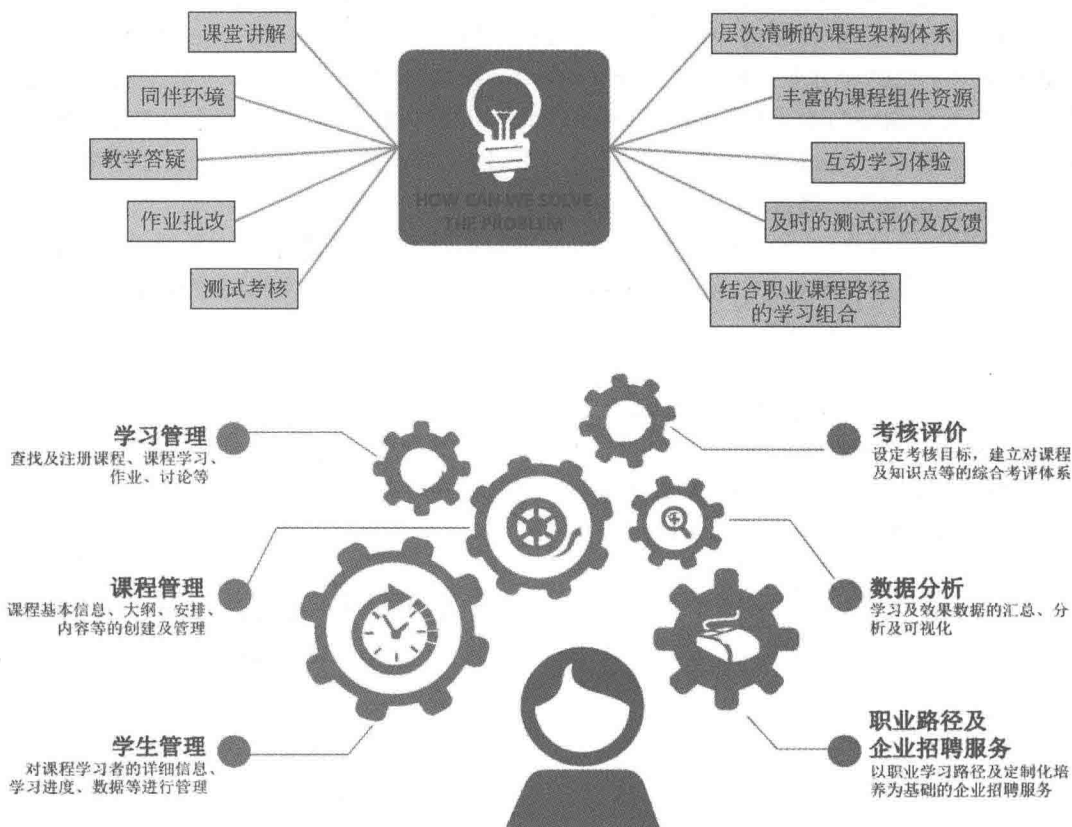


四、码客学院

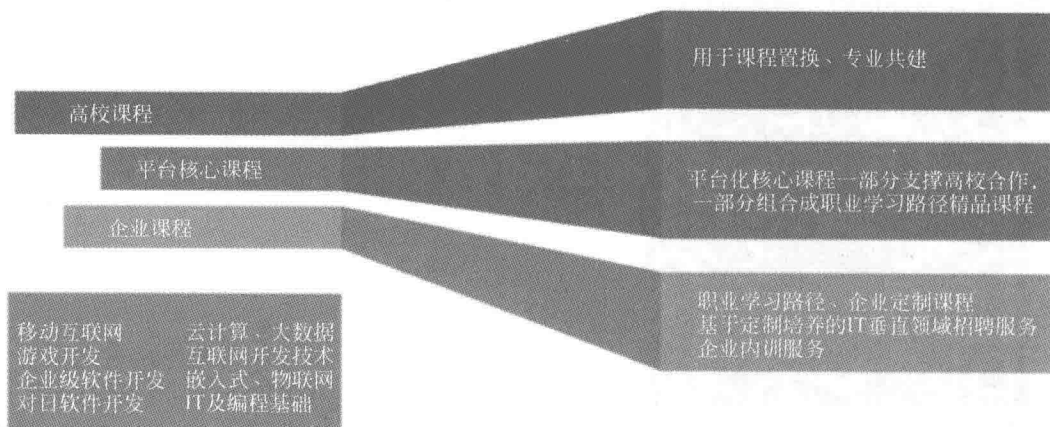
码客学院是 QST 青软实训提供的专注泛 IT 领域在线教育及企业定制人才培养平台，主要包括基于慕课教学模式及功能设计的在线教育平台，以及覆盖 iOS、Android 等平台的在线教育移动端应用。读者可以扫描以下二维码进入码客学院：



在线平台通过面向学习效果的平台功能设计，结合课堂讲解、同伴环境、教学答疑、作业批改、测试考核等教学要素进行设计，主要功能有学习管理、课程管理、学生管理、考核评价、数据分析、职业路径及企业招聘服务等功能，如下图所示：



平台的内容规划上包括了高校核心课程、平台核心课程、企业定制课程三个层次的内容体系,涵盖了移动互联网、云计算、大数据、游戏开发、互联网开发技术、企业级软件开发、嵌入式、物联网、对日软件开发、IT 及编程基础等领域的课程内容,如下图所示:



五、致谢

“在实践中成长”丛书的编写和整理工作由 QST 青软实训 IT 教育技术研究中心研发完成,研究中心全体成员在这一年多的编写过程中付出了辛勤的汗水。在此丛书出版之际,特别感谢给予我们大力支持和帮助的合作伙伴,感谢共建专业院校的师生给予我们的支持和鼓励,更要感谢参与本书编写的专家和老师们付出的辛勤努力。除此之外,还有 QST 青软实训 6000 多名学员也参与了教材的试读工作,并从初学者角度对教材提供了许多宝贵意见,在此一并表示衷心感谢。

在本书写作过程中,由于时间及水平上的原因,可能存在不全面或疏漏的地方,敬请读者提出宝贵的批评与建议。我们以最真诚的心希望能与读者共同交流、共同成长,待本书再版时能更趋完善,是所至盼。

联系方式:

E-mail: QST_book@itshixun.com

400 电话: 400-658-0166

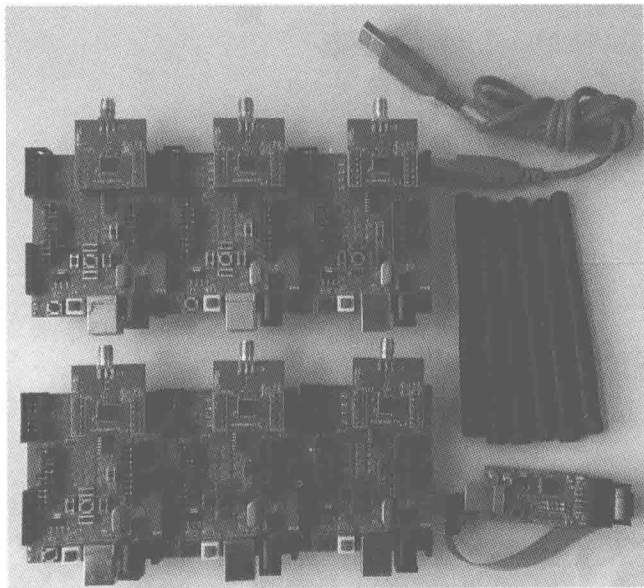
QST 青软实训: www.itshixun.com

码客学院: www.moocollege.cn

QST 青软实训 IT 教育技术研究中心

2015 年 3 月

本书以学习美国德州仪器公司的 CC2530 芯片以及 Z-Stack 协议栈为主线,是一本注重培养读者学习能力及动手能力的书。本书与稍后出版的《ZigBee 技术开发——Z-Stack 协议栈原理及应用》一书是姊妹篇。在《ZigBee 技术开发——CC2530 单片机技术原理及应用》一书中,以 CC2530 开发板为基础,配合传感器学习 CC2530 芯片各部分的开发与应用;在《ZigBee 技术开发——Z-Stack 协议栈原理及应用》一书中,将 CC2530 开发板与 Z-Stack 协议栈结合起来,学习 Z-Stack 协议栈的开发与应用。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。全书配套的硬件资源如下:



1. 项目简介

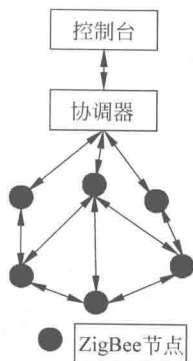
智能家居环境信息采集系统项目是一个基于 ZigBee 的信息采集系统,本系统的实现由浅至深分为两部分:CC2530 控制传感器部分以及 Z-Stack 信息采集部分。

- CC2530 控制传感器:主要任务是使用 CC2530 单片机实现对温度传感器 DS18B20 和光敏电阻进行控制采集温度信息和光照信息。
- Z-Stack 信息采集部分:主要任务是对信息采集的节点进行组网,实现远距离数据采集和传输。

ZigBee 信息采集系统可以对多种环境进行数据采集,如路灯检测系统、森林防火系统、城市交通系统等。

2. 贯穿项目模块

智能家居环境信息采集系统的实现穿插到《ZigBee 技术开发——CC2530 单片机技术原理及应用》和《ZigBee 技术开发——Z-Stack 协议栈原理及应用》的所有章节中,每个章节在前一章节的基础上进行任务实现,对项目逐步进行迭代、升级,最终形成一个完整的项目。其中,《ZigBee 技术开发——CC2530 单片机技术原理及应用》是基于 CC2530 控制传感器采集环境信息的实现部分,《ZigBee 技术开发——Z-Stack 协议栈原理及应用》是基于信息采集的节点进行组网,实现远距离数据采集和传输。智能家居环境信息采集系统示意图如下:



ZigBee 节点(主要核心模块为 CC2530)负责采集数据信息,信息采集完成之后通过 ZigBee 组网进行无线传输至协调器,协调器将数据整合之后发送至控制台。

3. 章节任务实现

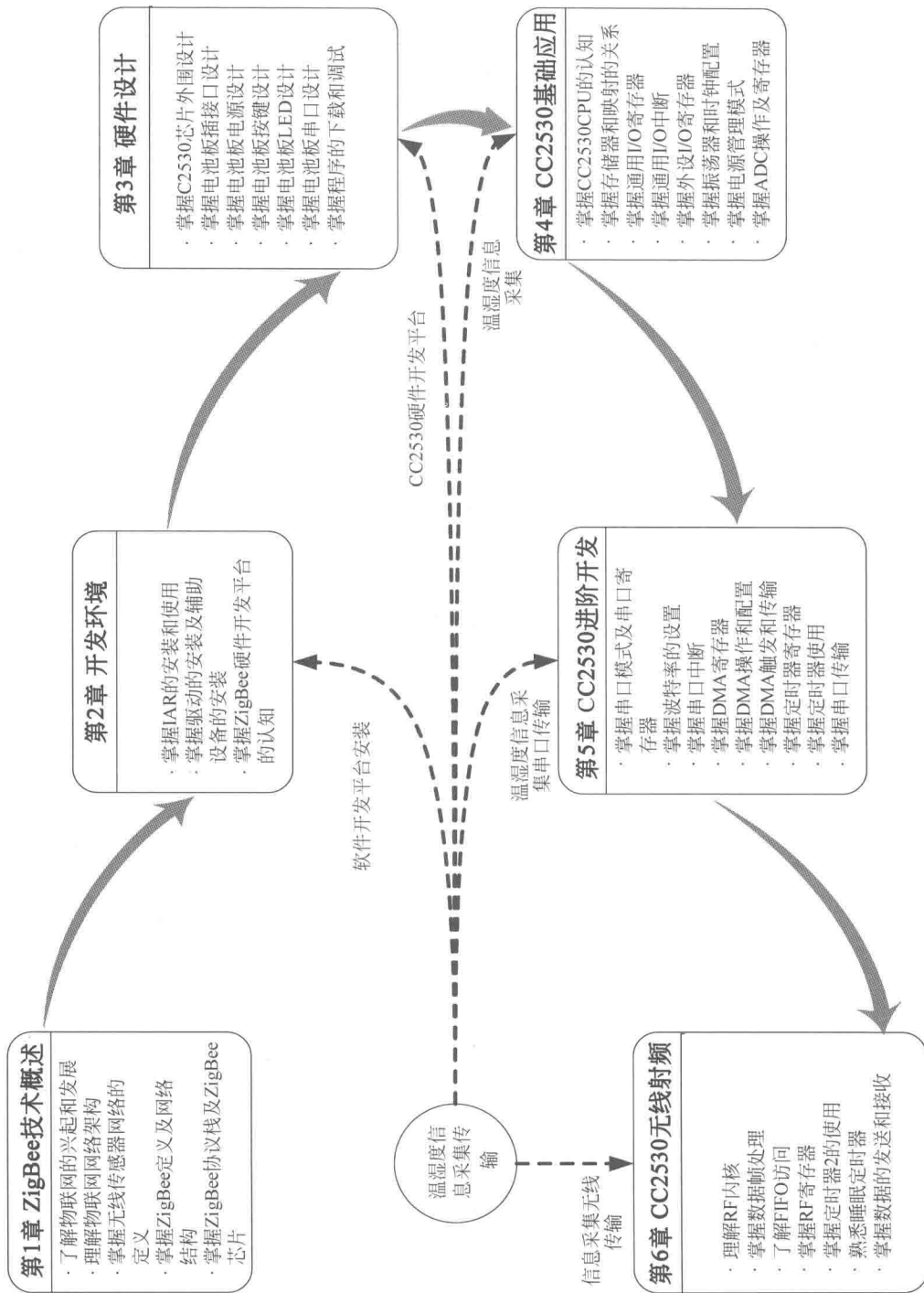
章	目 标	贯穿任务实现
第 1 章 ZigBee 技术概述	Zigbee 技术入门	
第 2 章 开发环境	环境搭建	【任务 2-1】新建一个名称为 QST 的工程,并设置其参数
第 3 章 硬件设计	CC2530 外围硬件设计	【任务 3-1】硬件设备的连接,下载、调试程序
第 4 章 CC2530 基础应用	CC2530 通用 I/O、外设 I/O、振荡器及时钟、ADC 的应用	【任务 4-1】CC2530 控制 DS18B20 采集温度信息 【任务 4-2】CC2530 采集光照信息
第 5 章 CC2530 进阶开发	CC2530 串口、DMA 控制器、定时器的应用	【任务 5-1】CC2530 控制 DS18B20 采集传感信息并通过串口传输
第 6 章 CC2530 无线射频	CC2530 的点对点无线通信	【任务 6-1】CC2530 控制 DS18B20 采集温度信息并通过无线射频传输

本书由刘全担任主编,李战军、金澄、郭晓丹担任副主编,李瑞改老师编写主要章节并进行全书统稿,丁璟、韩涛、张侠、单杰也参与了部分章节的编写和审核工作。作者均已从事物联网、嵌入式教学和项目开发多年,拥有丰富的教学和实践经验。由于作者水平有限,书中疏漏和不足之处在所难免,恳请广大读者及专家不吝赐教。

编者

2015 年 3 月

章节学习路线图



第 1 章 ZigBee 技术概述	1
学习导航/课程定位	1
本章目标	1
1.1 概述	2
1.1.1 物联网起源	2
1.1.2 物联网发展	2
1.1.3 物联网网络架构	3
1.2 无线传感器网络概述	4
1.2.1 WSN 概述	4
1.2.2 WSN 与 ZigBee	5
1.3 ZigBee 技术介绍	5
1.3.1 ZigBee 概述	5
1.3.2 ZigBee 技术特点	6
1.3.3 ZigBee 应用	7
1.4 ZigBee 协议栈	9
1.5 ZigBee 芯片	9
1.5.1 CC2430/CC2431	9
1.5.2 CC2530/CC2531	9
1.5.3 CC2538	10
本章总结	10
小结	10
Q&A	11
章节练习	11
习题	11
第 2 章 开发环境	12
任务驱动	12
学习导航/课程定位	12
本章目标	12
2.1 概述	12
2.2 软件开发环境	13
2.2.1 IAR 的安装和使用	13

2.2.2 驱动的安装	17
2.2.3 辅助设备的安装	21
2.3 硬件开发环境	24
2.3.1 ZigBee 核心模块	24
2.3.2 ZigBee 电池板	25
2.4 贯穿项目实施	26
本章总结	32
小结	32
Q&A	32
章节练习	32
习题	32
第3章 硬件设计	33
任务驱动	33
学习导航/课程定位	33
本章目标	33
3.1 概述	34
3.2 CC2530 核心模块设计	34
3.2.1 CC2530 概述	34
3.2.2 CC2530 芯片外围设计	34
3.3 电池板设计	36
3.3.1 插接口设计	36
3.3.2 电源设计	37
3.3.3 按键设计	37
3.3.4 LED 设计	37
3.3.5 传感器接口设计	39
3.3.6 串口设计	39
3.3.7 JTAG 接口设计	40
3.4 贯穿项目实施	40
3.4.1 硬件设备连接	40
3.4.2 程序下载调试	41
本章总结	43
小结	43
Q&A	44
章节练习	44
习题	44
第4章 CC2530 基础开发	45
任务驱动	45

学习导航/课程定位	45
本章目标	46
4.1 概述	46
4.2 CC2530 结构框架	46
4.2.1 CC2530CPU	46
4.2.2 存储器和映射	46
4.3 通用 I/O	50
4.3.1 功能寄存器 PxSEL	50
4.3.2 方向寄存器 PxDIR	51
4.3.3 配置寄存器 PxINP	54
4.3.4 通用 I/O 中断	57
4.4 外设 I/O	67
4.4.1 外设 I/O 引脚映射	67
4.4.2 外设 I/O 寄存器	68
4.5 振荡器和时钟	73
4.5.1 振荡器	74
4.5.2 系统时钟	74
4.5.3 时钟配置	74
4.6 电源管理	77
4.6.1 供电模式	77
4.6.2 电源管理寄存器	78
4.6.3 系统时钟初始化	79
4.7 CC2530 ADC	80
4.7.1 ADC 概述	80
4.7.2 ADC 操作	80
4.7.3 ADC 寄存器	81
4.7.4 ADC 信息采集	85
4.8 贯穿项目实施：传感信息采集	88
4.8.1 光照信息采集	88
4.8.2 温度信息采集	90
本章总结	99
小结	99
Q&A	99
章节练习	100
习题	100
第 5 章 CC2530 进阶开发	103
任务驱动	103
学习导航/课程定位	103

本章目标	103
5.1 串口	104
5.1.1 串口模式	104
5.1.2 寄存器设置	104
5.1.3 波特率的产生和设置	108
5.1.4 串口传输	109
5.1.5 串口中断	112
5.2 DMA 控制器	116
5.2.1 DMA 控制器概述	116
5.2.2 DMA 操作	116
5.2.3 DMA 配置	120
5.2.4 DMA 触发	123
5.2.5 DMA 传输	124
5.3 定时器	127
5.3.1 定时器 1	128
5.3.2 定时器 3 和定时器 4	134
5.4 贯穿项目实施	141
本章总结	144
小结	144
Q&A	144
章节练习	144
习题	144
第 6 章 CC2530 无线射频	147
任务驱动	147
学习导航/课程定位	147
本章目标	148
6.1 RF 内核	148
6.2 帧处理	148
6.2.1 发送数据帧处理	149
6.2.2 接收数据帧处理	149
6.3 FIFO 访问	150
6.3.1 TXFIFO 访问	150
6.3.2 RXFIFO 访问	150
6.3.3 RF 中断	150
6.4 RF 寄存器	151
6.4.1 RF 数据操作寄存器	151
6.4.2 帧过滤寄存器	152
6.4.3 帧处理寄存器	153

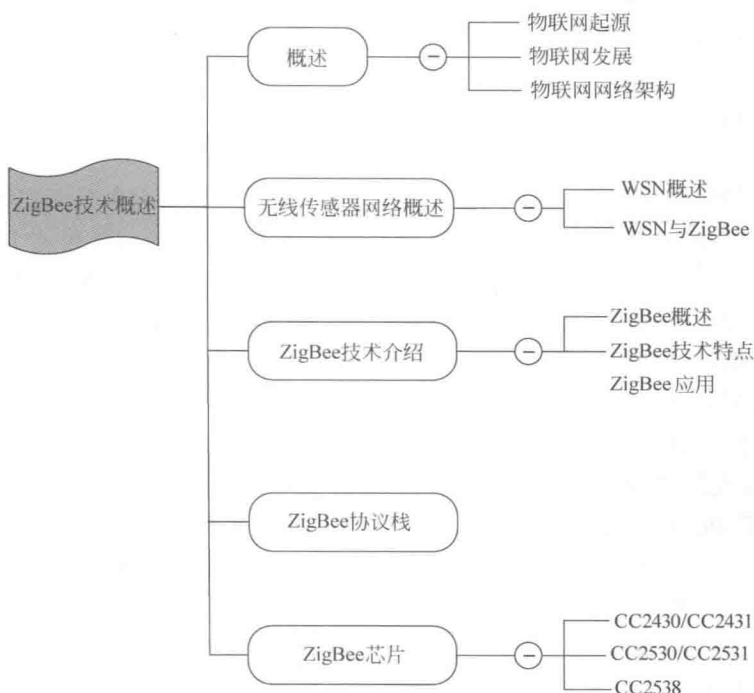
6.4.4	RF 中断寄存器	156
6.4.5	中断标志寄存器	159
6.4.6	信道设置寄存器	162
6.5	寄存器的设置更新	163
6.6	命令选通	163
6.7	定时器 2 和睡眠定时器	164
6.7.1	定时器 2	164
6.7.2	睡眠定时器	171
6.8	数据的发送和接收	172
6.8.1	数据的发送	174
6.8.2	数据的接收	175
6.8.3	工程设置	176
6.9	贯穿项目实施	179
本章总结	.....	181
小结	.....	181
Q&A	.....	182
章节练习	.....	182
习题	.....	182
附录 A	CC2530 指令集	184
A.1	指令集概述	184
A.2	CC2530 指令集定义	186
附录 B	ASCII 表	194
参考文献	.....	196

第 1 章

ZigBee技术概述



学习导航 / 课程定位



本章目标

知识点	Listen(听)	Know(懂)	Do(做)	Revise(复习)	Master(精通)
物联网的兴起和发展	★				
物联网网络架构	★	★			
无线传感器网络定义	★	★		★	
WSN 与 ZigBee 关系	★	★			
ZigBee 定义及网络结构	★	★	★		★
ZigBee 技术特点	★	★	★	★	★
ZigBee 应用	★				

1.1 概述

ZigBee 是一种新兴的高可靠的、短距离的无线数传网络,类似于 WiFi 和蓝牙网络,ZigBee 数传模块类似于 WiFi 或者蓝牙网络中的通信节点。伴随着物联网技术的发展,ZigBee 作为无线传感网络的一种重要技术标准,ZigBee 在物联网中的所占据的位置日益重要,较多的物联网应用都采用 ZigBee 技术,因此要了解 ZigBee 技术,首先要了解物联网的组成。本节将介绍物联网的起源、发展以及物联网网络架构。

1.1.1 物联网起源

物联网的概念最早可以追溯到 1991 年英国剑桥大学的“特洛伊”咖啡壶事件。剑桥大学特洛伊计算机实验室的科学家们在咖啡壶旁边安装了一个便携式摄像机,使镜头对准咖啡壶并编写了一套程序,利用计算机图像捕捉技术,将图像传输到实验室的计算机上,以方便工作组人员随时查看咖啡是否煮好。

在比尔·盖茨的《未来之路》一书中,最早提及到物联网(Internet Of Things,IOT)的概念,只是受限于当时无线网络、硬件和传感器设备的发展状况,并未引起人们的重视。

1998 年,美国麻省理工学院(Massachusetts Institute of Technology,MIT)创造性地提出了当时被称作 EPC(Electronic Product Code)系统的“物联网”的构想,用 RFID 取代现存的商品条形码,使电子标签变成零售商品的绝佳信息发射器,并由此变化出千百种应用与管理方式,来实现供应链管理的透明化和自动化。

1999 年,在物品编码、RFID 技术和互联网的基础上,美国 Auto-ID 实验室首先提出了“物联网”的概念。当时对物联网的定义很简单:将所有物品通过射频识别技术,使用一系列信息传感设备与因特网连接起来,实现对物品的智能化识别和管理。MIT 自动识别中心提出,要在计算机因特网的基础上,利用 RFID、无线传感器网络(Wireless Sensor Network,WSN)、数据通信等技术,构造一个覆盖世界上万事万物的“物联网”。在这个网络中,物品(商品)能够彼此进行“交流”,而无须人的干预。

在我国物联网白皮书中把物联网的概念归纳为:物联网是通信网和互联网的拓展应用和网络延伸,它利用感知技术与智能装置对物理世界进行感知识别,通过网络传输互联,进行计算、处理和知识挖掘,实现人与物、物与物信息交互和无缝链接,达到对物理世界实时控制、精确管理和科学决策的目的。

1.1.2 物联网发展

过去在中国,物联网被称为传感网。中科院早在 1999 年就启动了传感网的研究,并已取得了一些科研成果,建立了一些实用的传感网。同年,在美国召开的移动计算和网络国际会议提出“传感网是下一个世纪人类面临的又一个发展机遇”。

2003 年,美国《技术评论》提出传感网络技术将是未来改变人们生活的十大技术之首。2005 年 11 月 17 日,在突尼斯举行的信息社会世界峰会(WSIS)上,国际电信联盟(ITU)发布了《ITU 互联网报告 2005:物联网》,正式提出了“物联网”的概念。报告指出,无所不在