



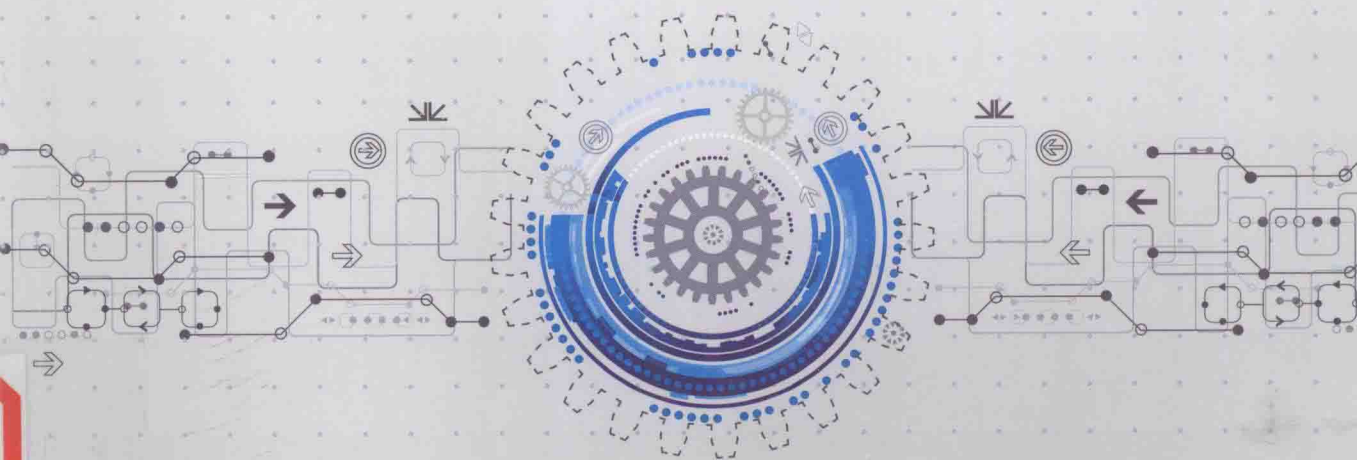
“在实践中成长”丛书

ZigBee 技术开发

Z-Stack协议栈原理及应用

QST青软实训 编著

- 基于ZigBee，以Z-Stack协议栈为核心
- 智能家居环境信息采集项目贯穿全书
- 知识点层层深化，易于理解和掌握
- 理论与实践相结合，培养和提高动手能力



清华大学出版社



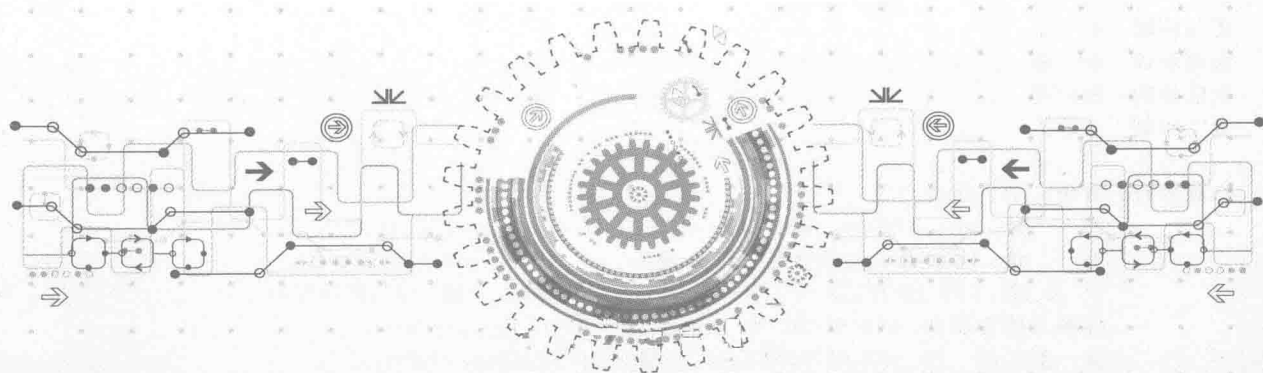


“在实践中成长”丛书

ZigBee 技术开发

Z-Stack协议栈原理及应用

QST青软实训 编著



清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书从 ZigBee 技术协议栈出发,主要讲解支撑 ZigBee 技术的 Z-Stack 协议栈的开发及应用。全书共分为 6 章,第 1 章主要讲解 ZigBee 基础知识、协议架构、ZigBee 网络结构、各层数据帧结构等 ZigBee 技术原理知识;第 2 章主要讲解 MAC 层信道访问机制及基于 IEEE 802.15.4 射频程序设计;第 3 章主要讲解 Z-Stack 协议栈的开发与应用,包括 Z-Stack 协议栈架构、提供的 API 函数、协议栈各层分析和协议栈运行机制;第 4 章主要讲解 Z-Stack 应用,包括数据接收和发送方式、匹配和绑定实例以及串口的使用;第 5 章主要讲解在 Z-Stack 现有的工程上,重新建立应用 APP 层,区分协调器、路由器及终端节点的编译过程;第 6 章对整本书贯穿项目的环境分析、软件功能进行实现。

本书采用实践为主、理论为辅、实践与理论相结合的方式,循序渐进地引导学生掌握 Z-Stack 协议栈的使用,加强动手能力的培养。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: Z-Stack 协议栈原理及应用/QST 青软实训编著.--北京:清华大学出版社,2016

“在实践中成长”丛书

ISBN 978-7-302-41770-5

I. ①Z… II. ①Q… III. ①无线网 IV. ①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 243716 号

责任编辑:刘 星

封面设计:刘 键

责任校对:焦丽丽

责任印制:王静怡

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:12 字 数:291 千字

版 次:2016 年 1 月第 1 版 印 次:2016 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.00 元

产品编号:065270-01

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,如何快速的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的目的则是融合在书及课堂上的学习方法,使学习者具备了学习技术的能力。

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,保留原系列图书中的优势,并在技术、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+HTML 5+jQuery》
- 《Java EE 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 单片机技术原理及应用》
- 《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》
- 《Altium Designer 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

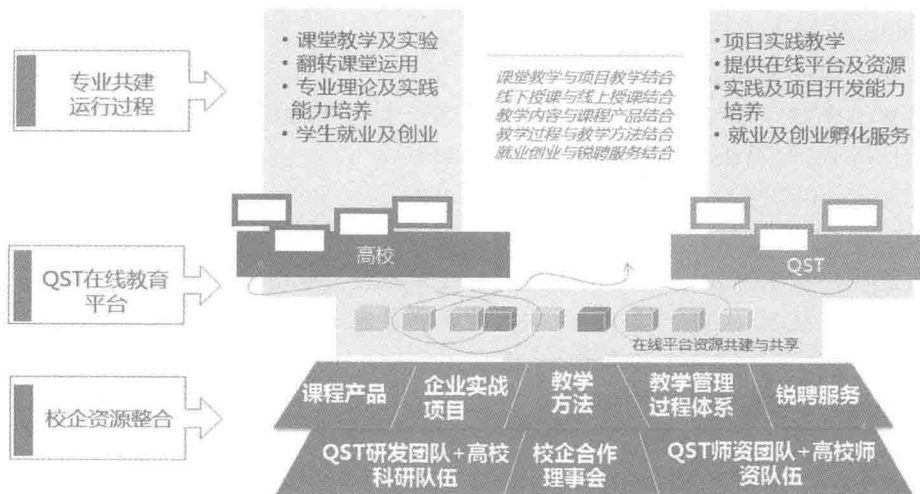
QST 青软实训在线教育平台——www.moocollege.cn 免费提供与本书配套的在线课程,以及与本书配套的相关资源下载:

- 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:

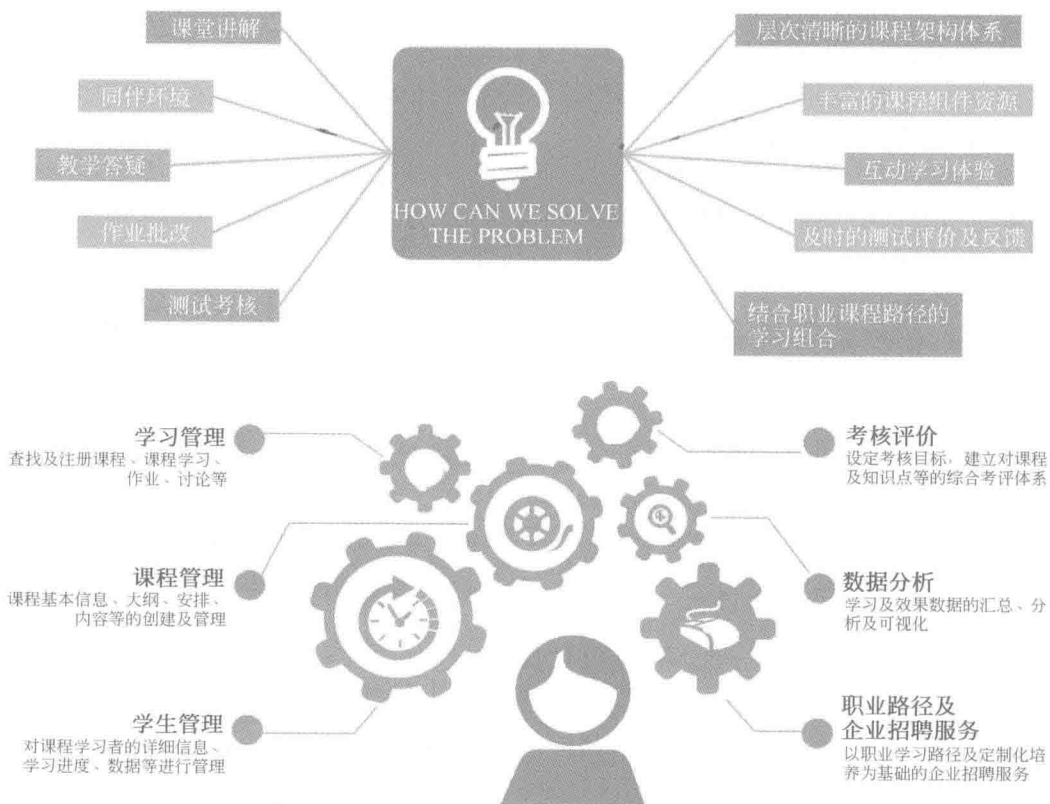


四、青软实训在线教育平台

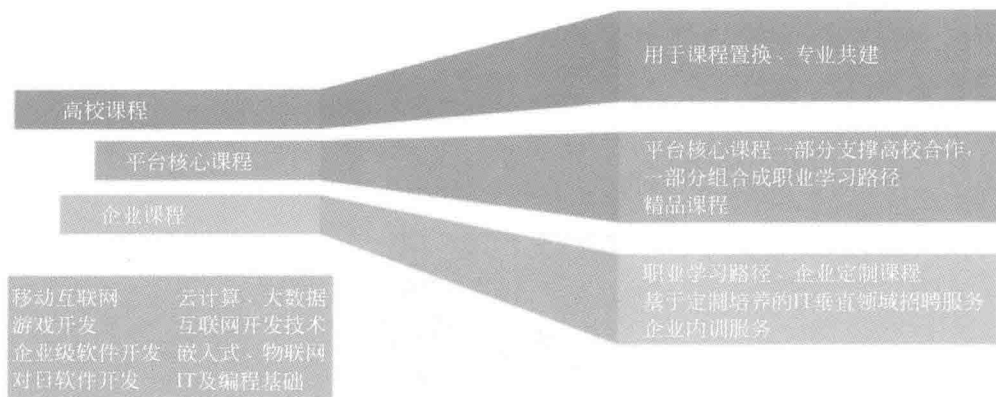
青软实训在线教育平台专注泛 IT 领域在线教育及企业定制人才培养,该平台主要包括基于慕课教学模式及功能设计的在线教育,以及覆盖 iOS、Android 等平台的在线教育移动端应用。读者可以扫描以下二维码下载移动端应用:



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 多名学员也参与到了教材的试读工作中,并从初学者角度对教材提供了许多宝贵的意见,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,待再版时完善,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

QST 青软实训在线教育平台: www.mooccollege.cn

QST 教材丛书资源网: book.mooccollege.cn

QST 青软实训 IT 教育技术研究中心

2015 年 3 月

前言

本书以学习德州仪器(TI)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。本丛书分为《ZigBee 技术开发——CC2530 单片机原理及应用》和《ZigBee 技术开发——Z-Stack 协议栈原理及应用》。在《ZigBee 技术开发——CC2530 单片机原理及应用》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图 0-1 所示。

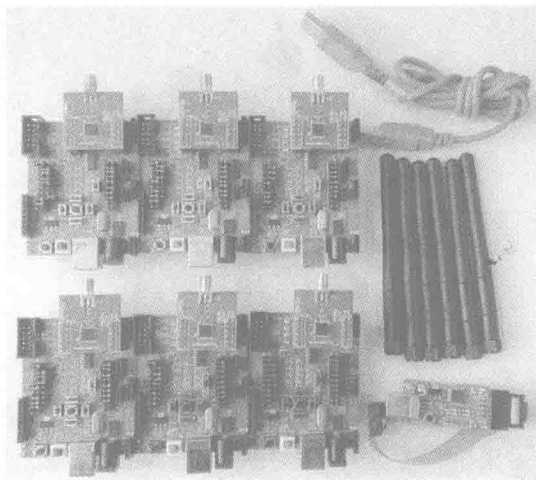


图 0-1 硬件资源

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,本系统的实现由浅入深分为两部分:CC2530 控制传感器以及 Z-Stack 信息采集。

- 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: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,比如路灯检测系统、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图 0-2 所示。

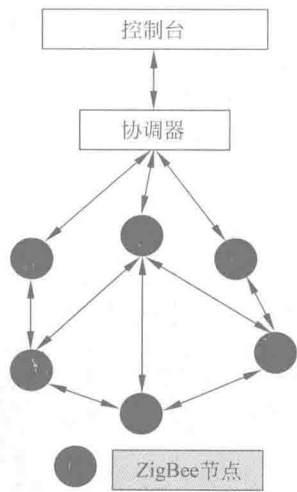


图 0-2 信息采集系统示意图

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

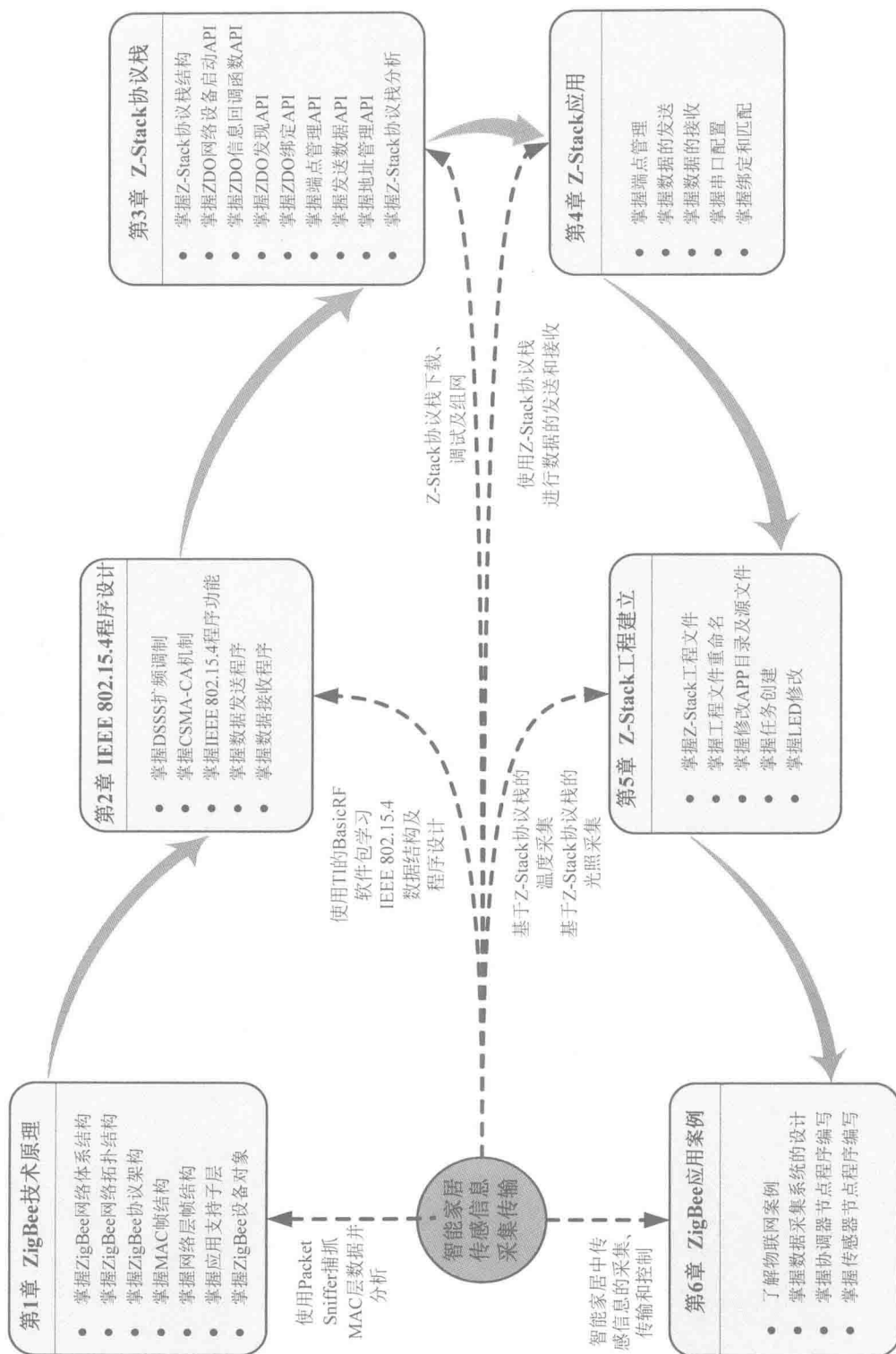
章	目 标	贯 穿 任 务 实 现
第 1 章 ZigBee 技术原理	ZigBee 数据帧分析	【任务 1-1】使用 Packet Sniffer 捕抓 MAC 层数据并分析
第 2 章 IEEE 802. 15. 4 程序设计	分析 IEEE 802. 15. 4 数据帧结构并编写程序	【任务 2-1】使用 TI 的 BasicRF 软件包学习 IEEE 802. 15. 4 数据结构及程序设计
第 3 章 Z-Stack 协议栈	Z-Stack 协议栈各层分析	【任务 3-1】Z-Stack 协议栈下载、调试及组网
第 4 章 Z-Stack 应用	Z-Stack 数据传输、串口应用、匹配和绑定	【任务 4-1】使用 Z-Stack 协议栈进行数据的发送和接收
第 5 章 Z-Stack 工程建立	学习建立 Z-Stack 模板工程并修改硬件连接	【任务 5-1】基于 Z-Stack 协议栈的温度采集 【任务 5-2】基于 Z-Stack 协议栈的光照采集
第 6 章 ZigBee 应用案例	了解并分析 ZigBee 案例	【任务 6-1】智能家居中传感信息的采集、传输和控制

本书由刘全担任主编,李战军、金澄、郭晓丹担任副主编,李瑞改编写主要章节并进行全书统稿,另外还有丁璟、韩涛、张侠、李红霞、单杰参与本书部分章节的编写工作。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,肯请广大读者及专家不吝赐教。本书的相关资源,请到 www.mooccollege.cn 下载。

作者

2015 年 10 月

章节学习路线图



目 录

第 1 章 ZigBee 技术原理	1
任务驱动	1
学习导航/课程定位	1
本章目标	1
1.1 概述	2
1.2 ZigBee 网络结构	2
1.2.1 ZigBee 网络体系结构	2
1.2.2 ZigBee 网络拓扑结构	3
1.2.3 ZigBee 协议架构	4
1.3 IEEE 802.15.4 通信层	6
1.3.1 物理层服务	6
1.3.2 MAC 层服务	8
1.3.3 MAC 帧结构	8
1.3.4 MAC 帧类型	11
1.4 网络层	13
1.4.1 功能概述	13
1.4.2 服务规范	13
1.4.3 网络层帧结构	14
1.5 应用层	16
1.5.1 应用支持子层	16
1.5.2 应用程序框架	16
1.5.3 ZigBee 设备对象	18
1.6 贯穿项目实施	19
1.6.1 软件部分	19
1.6.2 硬件部分	23
1.6.3 数据分析	23
本章总结	26
小结	26
Q&A	27
本章练习	27
习题	27

第 2 章 IEEE 802.15.4 程序设计	28
任务驱动	28
学习导航/课程定位	28
本章目标	28
2.1 概述	28
2.2 信道访问	29
2.2.1 DSSS 扩频调制	29
2.2.2 CSMA-CA 机制	30
2.3 IEEE 802.15.4 射频程序	31
2.3.1 数据发送	33
2.3.2 数据接收	38
2.4 贯穿项目实施	41
2.4.1 发送模式选择	41
2.4.2 程序设计	43
本章总结	47
小结	47
Q & A	47
本章练习	47
习题	47
第 3 章 Z-Stack 协议栈	48
任务驱动	48
学习导航/课程定位	48
本章目标	48
3.1 概述	49
3.2 Z-Stack 协议栈结构	51
3.3 API 函数	52
3.3.1 ZDO 网络设备启动 API	52
3.3.2 ZDO 信息回调函数 API	52
3.3.3 ZDO 发现 API	53
3.3.4 ZDO 绑定 API	62
3.3.5 端点管理 API	66
3.3.6 发送数据 API	68
3.3.7 组表管理 API	69
3.3.8 网络管理 API	70
3.3.9 地址管理 API	72
3.4 Z-Stack 协议栈分析	74
3.4.1 main 函数解析	74
3.4.2 APP 层解析	76

3.4.3 ZDO 层解析	83
3.4.4 NWK 层解析	84
3.4.5 HAL 层解析	88
3.5 贯穿项目实施	92
本章总结	94
小结	94
Q&A	95
本章练习	95
习题	95
第 4 章 Z-Stack 应用	96
任务驱动	96
学习导航/课程定位	96
本章目标	96
4.1 概述	96
4.2 Z-Stack 数据传输	97
4.2.1 端点	97
4.2.2 数据的发送	99
4.2.3 数据的接收	102
4.3 Z-Stack 串口应用	105
4.3.1 串口配置	105
4.3.2 串口实现	106
4.4 绑定和匹配	109
4.4.1 绑定	109
4.4.2 匹配	111
4.4.3 绑定和匹配实现	112
4.5 贯穿项目实施	114
本章总结	121
小结	121
Q&A	121
本章练习	122
习题	122
第 5 章 Z-Stack 工程建立	123
任务驱动	123
学习导航/课程定位	123
本章目标	123
5.1 新建 Z-Stack 工程文件	123
5.1.1 工程创建	124
5.1.2 任务创建	130

5.2 LED 修改	145
5.3 贯穿项目实施	147
5.3.1 温度采集	148
5.3.2 光照采集	154
本章总结	157
小结	157
Q&A	157
本章练习	157
习题	157
第 6 章 ZigBee 应用案例	158
任务驱动	158
学习导航/课程定位	158
本章目标	158
6.1 概述	158
6.2 案例分析	159
6.2.1 智能农业	159
6.2.2 智能交通	159
6.2.3 工业控制	159
6.2.4 智能家居	159
6.3 数据采集系统设计	160
6.3.1 协调器功能设计	160
6.3.2 路由器功能设计	161
6.3.3 传感器节点功能设计	161
6.4 贯穿项目实施	162
6.4.1 协调器节点程序设计	162
6.4.2 传感器节点程序设计	167
6.4.3 下载及调试	170
本章总结	171
小结	171
Q&A	171
本章练习	171
习题	171
附录 A Z-Stack 协议栈 API	172
A.1 硬件驱动层 API	172
A.2 OSAL 层 API	172
附录 B ASCII 表	173
参考文献	175

第1章

ZigBee技术原理

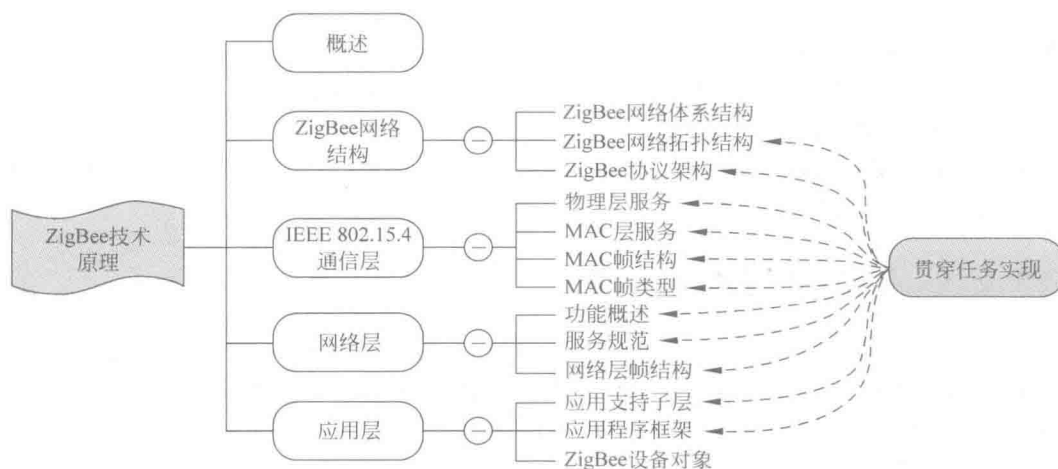


任务驱动

【任务 1-1】 使用 Packet Sniffer 捕抓 MAC 层数据并分析。



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)
ZigBee 网络体系结构	★				
ZigBee 网络拓扑结构	★	★			
ZigBee 协议架构	★	★		★	
MAC 帧结构	★	★	★	★	★
网络层帧结构	★	★	★	★	★
应用支持子层	★	★			
ZigBee 设备对象	★	★			

1.1 概述

ZigBee 是一种近距离、低复杂度的双向无线通信系统,主要用于距离短、功耗低、传输速率不高的电子设备之间进行数据传输,且具有低功耗、低成本、大容量、短时延、高可靠性以及灵活的网络拓扑结构等特点。

ZigBee 体系结构基于标准的开放系统互联(Open System Interconnection,OSI)协议模型,ZigBee 协议基础为 IEEE 802.15.4,但是 ZigBee 并不等同于 IEEE 802.15.4 标准,ZigBee 联盟在 IEEE 802.15.4 基础上重新定义了网络层和应用层。

本章将详细介绍 ZigBee 技术的网络结构、IEEE 802.15.4 通信层、ZigBee 网络层和 ZigBee 应用层。

1.2 ZigBee 网络结构

ZigBee 网络结构可以从以下 3 方面进行阐述: ZigBee 网络体系结构、ZigBee 网络拓扑结构和 ZigBee 协议架构。

- ZigBee 网络体系结构阐述了 ZigBee 网络的 4 层基本结构;
- ZigBee 网络拓扑结构详细讲解了 ZigBee 网络的星型、树型和网状网络的拓扑结构;
- ZigBee 协议架构详细讲解了构成 ZigBee 网络的物理层、MAC 层、网络层和应用层以及各层之间的通信接口。

1.2.1 ZigBee 网络体系结构

ZigBee 网络体系结构在参照 OSI 模型的基础上,结合无线网络的特点,采用分层设计思想,即不同的逻辑层负责不同的功能。ZigBee 网络体系结构主要分为 4 层:物理层、MAC(Media Access Control,介质访问控制)层、网络层和应用层。ZigBee 网络体系结构分层示意图如图 1-1 所示。



图 1-1 ZigBee 网络体系结构

物理层和 MAC 层由 IEEE 802.15.4 标准定义,网络层和应用层由 ZigBee 联盟定义。其中各层主要功能阐述如下。

- 物理层:定义物理无线信道和 MAC 子层之间的接口、激活和休眠 ZigBee 节点、选择