



物联网“落地有声”系列丛书



源程序下载地址：
<http://www.buaapress.com.cn>的“下载中心”

例说

ZigBee



李明亮

蒙 洋 编著

康辉英

北京中芯优电
信息技术有限公司

审校



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



物联网“落地有声”系列丛书

例说 ZigBee

李明亮 蒙 洋 康辉英 编著

北京中芯优电信息技术有限公司 审校

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书基于 CC2430 芯片开发套件,用大量的实验或实例来说话,遵循“理论基础→开发平台→CC2430 实验→ZigBee 实验”的学习思路,深入浅出地讲述 ZigBee 技术。本书分为 3 个篇章:理论基础及开发平台篇、CC2430 实验篇和 ZigBee 实验篇。理论基础及开发平台篇阐述 ZigBee 技术的基本概念、原理、开发平台及与物联网技术的关系。CC2430 实验篇是 ZigBee 实验篇的基础,分析探讨 CC2430 的原理、内部资源和外部接口,并通过典型实验分析 CC2430 寄存器的使用方法和编程思想。ZigBee 实验篇介绍 IEEE 802.15.4/ZigBee 无线传感器网络通信标准、TI Z-Stack 的软件构架及开发基础,通过实例讲解 ZigBee 节点实验及物联网 ZigBee 综合系统。本书共享书中所有程序源代码和相关资料,可在北京航空航天大学出版社的“下载专区”进行下载。

本书可作为从事物联网、WSN、ZigBee 等技术的工程师的参考用书,也可作为高等院校物联网、计算机、电子、自动化、无线通信等专业课程的教材。

图书在版编目(CIP)数据

例说 ZigBee / 李明亮,蒙洋,康辉英编著. —北京
: 北京航空航天大学出版社,2013.7
ISBN 978-7-5124-1191-3

I. ①例… II. ①李… ②蒙… ③康… III. ①无线网
IV. ①TN92

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 151167 号

版权所有,侵权必究。

例说 ZigBee

李明亮 蒙 洋 康辉英 编著
北京中芯优电信息技术有限公司 审校
责任编辑 刘 星

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316936

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:20 字数:426 千字

2013 年 7 月第 1 版 2013 年 7 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1191-3 定价:45.00 元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:010-82317024

前言

随着信息科学和计算机的飞速发展,“物联网”被称为继计算机、互联网之后,世界信息产业的第三次浪潮。物联网一方面提高经济效益,大大节约成本;另一方面可以为全球的经济复苏提供技术支撑。“物联网”的目的是将各种信息传感设备与互联网结合起来形成一个巨大网络。在这个巨大网络中,可以用有线或无线的方式作为传感器与通信网之间的“桥梁”,而就系统的投资、建设、维护而言,无线传输显然具有更大的优势。

ZigBee 技术具有功耗低、数据传输可靠性高、网络容量大、时延小、兼容性强、安全性高、实现成本低、协议套件紧凑简单等优点。ZigBee 协议基于 IEEE 802.15.4 无线标准研制开发,基于 802.15.4 标准的无线传感器网络大大提高了数据传输的抗干扰性,同时又减少了现场布线带来的各种问题,对传感器节点的管理也比较方便,因此有着很好的发展前景。ZigBee 技术弥补了低成本、低功耗和低速率无线通信市场的空缺,其成功的关键在于丰富而便捷的应用,而不是技术本身。随着正式版本协议的公布,更多的注意力和研发力量将转到应用的设计和实现、互联互通测试和市场推广等方面。我们有理由相信在不远的将来,将有越来越多的内置式 ZigBee 功能设备进入生活,并将极大地改善我们的生活方式。

ZigBee 联盟是一个高速成长的非盈利业界组织,成员包括国际著名半导体生产商、技术提供者、技术集成商以及最终使用者。联盟制定了基于 IEEE 802.15.4 具有高可靠、高性价比、低功耗的网络应用规格。ZigBee 联盟的主要目标是通过加入无线网络功能,为消费者提供更富有弹性、更容易使用的电子产品。ZigBee 技术能融入各类电子产品,应用范围横跨全球的民用、商用、公共事业以及工业等市场。联盟会员可以利用 ZigBee 标准化无线网络平台,设计出简单、可靠、便宜又节省电力的各种产品来。

本书的写作风格为:理论+实验+原理+应用一体化,通过大量的实验及实例讲解,重点培养读者学习知识、分析问题、独立动手、理论与实际结合的能力,而不是单纯地灌输 ZigBee 理论知识和原理,以简单明了、富有层次的结构向读者介绍了一项抽象的、前沿的 ZigBee 技术,使读者更加易学易掌握。

第 1 章主要介绍了物联网的技术框架、应用前景及与 ZigBee 技术的联系。第 2 章分析了 ZigBee 的技术概念、特点、原理、发展前景及应用领域,重点介绍了 ZigBee

的协议框架。

第3章主要对 ZigBee 开发平台进行了全面的讲解, ZigBee 开发平台包括 ZigBee 无线单片机开发套件、IAR EW8051 7.30B 以上版本集成开发环境等。

第4、5章针对嵌入式 ZigBee 应用片上系统 CC2430 芯片进行分析。第4章主要介绍了 CC2430 芯片的原理、特点、内部资源和外部接口。第5章重点通过 ZigBee 的典型实验展示了 CC2430 芯片寄存器的使用方法和编程思想,为使读者对 ZigBee 的应用领域有更深层次的认识,本书特意为每个实验增加了应用场景说明。

第6章主要介绍了 IEEE 802.15.4 标准的特点、ZigBee 标准及规范、协议栈各层帧之间的关系及网络配置方法。

第7、8章主要介绍了 TI Z-Stack 软件架构。第7章通过应用举例,介绍了 TI Z-Stack 软件架构的初始化、操作系统执行 TI Z-Stack 的过程及 Z-Stack 中的文件组织方法。第8章重点讲述了如何利用 Z-Stack 开发实际的 ZigBee 项目。

第9章是本书的技术重点和技术难点。主要介绍了 ZigBee 仿真器及协议分析仪的设置和使用方法,以及怎样修改 ID 号和烧写协调器程序。重点以温湿度传感器节点和光敏传感器节点为例,介绍了节点工作原理、协调器与传感器节点组网的过程。

第10章主要讲述了 TOP-WSN 系统概述及系统集成方案,通过综合实例讲述了 ZigBee 物联网的具体应用。

本书由石家庄经济学院李明亮博士、康辉英讲师,北京中芯优电信息技术有限公司 CEO 蒙洋共同完成。其中第5、6章由康辉英讲师编写;第10章由蒙洋完成,其余章节由李明亮博士编写。李明亮和蒙洋完成了全部书稿的统筹及审核工作。

希望每位读者在学习完本书后都能独立动手进行 ZigBee 节点的设计与开发,也希望本书能为读者带去一份精彩的技术人生。

衷心感谢北京中芯优电信息技术有限公司,公司提供的实验设备和技术资料保证了此书的顺利完成。感谢在此书编写过程中帮助收集、编辑资料的石家庄经济学院的赵晓宁、何俊东、王珂璠、王晓芳、孙净、杨迎雪、司建龙、冯文露、蔡石磊、杨凯旋、李远、王希文、李瞳、赵泽通、李彩蝶和王翠翠同学。

最后,要特别感谢北京航空航天大学出版社的全力支持,如果没有他们的努力和辛勤劳动,这本书是不会这么快出版的。

由于时间仓促,加之作者水平有限,书中难免有不足之处,欢迎广大读者批评指正。有兴趣的读者可发送邮件到 bhcbslx@sina.com,与本书策划编辑进行交流。

作 者

2013年5月

序 言

物联网是继计算机、互联网之后,全球信息产业的第三次浪潮,国家“十二五”规划已明确将物联网列为战略性新兴产业。2012年2月14日正式发布了《物联网“十二五”发展规划》,2013年2月5日,又发布了《关于物联网健康有序发展的指导意见》,两个文件的出台,对物联网产业将带来巨大的发展机遇。

《物联网“十二五”发展规划》指出,到2015年我国要在核心技术研发与产业化、关键标准研究与制定、产业链建立与完善、重大应用示范与推广等方面取得显著成效,初步形成创新驱动、应用牵引、协同发展、安全可控的物联网发展格局。

根据规划,“十二五”期间要形成较为完善的物联网产业链,培育和發展10个产业聚集区,100家以上骨干企业;攻克一批物联网核心关键技术,在感知、传输、处理、应用等技术领域取得500项以上重要研究成果;研究制定200项以上国家和行业标准。同时,要在工业、农业、物流业、交通、电力、环保、公共安全、医疗卫生、智能家居等9个重点领域完成一批应用示范工程,力争实现规模化应用。

一直以来低速率、低成本、低功耗的无线通讯市场一直存在,并占有重要地位。其中基于ZigBee无线网络技术的传感器网络应用最为广泛。ZigBee技术依据IEEE 802.15.4规范,并且是一种经济、高效、低数据速率(250 kbps)、频率为2.4 GHz的无线技术标准,在数千个微小的传感器间相互协调并实现通信。因此,它们的通信效率非常高,在大量数据采集与组网应用场景得到广泛应用。

序 言

物联网作为一项战略性新兴产业,目前还处于发展的初级阶段,仍有许多技术瓶颈有待突破,缺乏统一的标准体系和成熟的商业模式,特别是需要挖掘更多的应用案例。基于 ZigBee 技术的无线传感器网络可以说是物联网技术的核心,支撑着物联网行业的发展和技术创新。

物联网“落地有声”系列丛书成功地选取了物联网行业中具备成熟商业模式和技术方案的项目作为工程案例,从系统需求开始分析,深入剖析物联网核心技术,帮助物联网领域工程技术人员及从业者深入理解物联网在行业中的应用,引领读者在实际的案例中揭开物联网神秘的面纱,推动物联网行业发展。

中国电子学会 秘书长

2013 年 5 月

目 录

理论基础及开发平台篇

第 1 章 物联网与 ZigBee	2
1.1 物联网定义与架构	2
1.1.1 物联网定义	2
1.1.2 物联网来源	2
1.1.3 物联网“物”的基本条件	3
1.1.4 物联网与智慧地球	3
1.1.5 物联网的技术架构	4
1.2 物联网关键技术	6
1.2.1 RFID 技术	6
1.2.2 WSN 技术	6
1.2.3 4G 通信技术	8
1.3 物联网与 ZigBee	9
1.4 本章小结	10
第 2 章 ZigBee 技术基础	12
2.1 概念与特点	12
2.2 技术原理	13
2.3 标准架构	15
2.4 应用领域	15
2.5 发展前景	19
2.6 无线通信协议对比	20
2.7 本章小结	21
第 3 章 ZigBee 开发平台	22
3.1 ZigBee 开发硬件平台	22

目 录

3.1.1	ZigBee 无线传感网络开发套件	23
3.1.2	协调器节点	24
3.1.3	传感器节点	26
3.1.4	CC2430 核心板模块	27
3.1.5	仿真器	28
3.1.6	协议分析仪	31
3.2	ZigBee 开发软件环境	32
3.2.1	IAR7.20H 安装	32
3.2.2	仿真器驱动程序安装	37
3.2.3	USB 转串口驱动安装	40
3.2.4	IAR 操作指南	41
3.2.5	辅助软件安装	55
3.3	本章小结	62

CC2430 实验篇

第 4 章	ZigBee 核心 CC2430 芯片	64
4.1	CC2430 原理及特点	64
4.1.1	MCU 构成	64
4.1.2	射频及模拟收发器	66
4.2	CC2430 内部资源	66
4.2.1	芯片内部资源	66
4.2.2	存储器空间	70
4.2.3	数据指针	71
4.2.4	外部数据存储器存取	71
4.3	CC2430 外部接口	72
4.4	CC2430 的典型应用	74
4.4.1	硬件应用电路	74
4.4.2	软件编程	75
4.5	本章小结	76
第 5 章	CC2430 基础实验	77
5.1	控制 LED 闪烁	77
5.1.1	应用场景	77
5.1.2	实验目的	77
5.1.3	实验原理	77

5.1.4	寄存器操作	78
5.1.5	实验步骤	79
5.1.6	实验结果	87
5.1.7	扩展实验	89
5.2	定时器实验	92
5.2.1	应用场景	92
5.2.2	实验目的	93
5.2.3	实验原理	93
5.2.4	寄存器操作	93
5.2.5	定时器中断	96
5.2.6	实验步骤	97
5.2.7	实验结果	99
5.2.8	扩展实验	99
5.3	外部中断实验	108
5.3.1	应用场景	108
5.3.2	实验目的	108
5.3.3	实验原理	108
5.3.4	寄存器操作	108
5.3.5	实验步骤	110
5.3.6	实验结果	112
5.4	芯片内部温度检测实验	112
5.4.1	应用场景	112
5.4.2	实验目的	112
5.4.3	实验原理	112
5.4.4	寄存器操作	113
5.4.5	实验步骤	116
5.4.6	实验结果	119
5.5	串口实验	120
5.5.1	应用场景	120
5.5.2	实验目的	120
5.5.3	实验原理	120
5.5.4	寄存器操作	121
5.5.5	实验步骤	124
5.5.6	实验结果	127
5.5.7	扩展实验	127
5.6	系统睡眠和唤醒	133

5.6.1 应用场景	133
5.6.2 实验目的	133
5.6.3 寄存器操作	133
5.6.5 实验步骤	135
5.6.6 实验结果	139
5.6.7 扩展实验	139
5.7 看门狗实验	144
5.7.1 应用场景	144
5.7.2 实验目的	144
5.7.3 实验原理	144
5.7.4 寄存器操作	145
5.7.5 实验步骤	146
5.7.6 实验结果	147
5.8 本章小结	147

ZigBee 实验篇

第 6 章 IEEE 802.15.4/ZigBee 无线传感器网络通信标准	150
6.1 IEEE 802.15.4 标准	150
6.1.1 IEEE 802.15.4 的特点	150
6.1.2 物理层(PHY)规范	151
6.1.3 媒体介质访问层(MAC)规范	152
6.2 ZigBee 标准及规范	156
6.2.1 网络层(NWK)规范	156
6.2.2 应用层(APL)规范	160
6.2.3 协议栈各层帧结构间关系	162
6.2.4 ZigBee 网络配置	162
6.2.5 数据传输机制	166
6.3 本章小结	166
第 7 章 TI Z-Stack 软件架构	168
7.1 轮转查询式操作系统	168
7.2 Z-Stack 软件架构	170
7.2.1 系统初始化	170
7.2.2 操作系统的执行	170
7.2.3 项目中 Z-Stack 文件组织	175

7.3 本章小结	177
第 8 章 TI Z-Stack 开发基础	178
8.1 ZigBee 网络基本概念	178
8.2 应用层基本概念	180
8.3 网络层基本概念	182
8.3.1 寻 址	182
8.3.2 路由协议及存储表	184
8.4 非易失性存储器	186
8.5 本章小结	188
第 9 章 ZigBee 节点实验	189
9.1 温湿度传感器节点实验	189
9.1.1 实验设备及要求	189
9.1.2 基本原理及硬件设计	189
9.1.3 软件设计	200
9.1.4 编译烧写协议栈源码和程序	201
9.1.5 代码剖析	207
9.1.6 实验内容	213
9.1.7 实验结果	224
9.1.8 协议分析仪分析数据包	226
9.2 光敏传感器节点实验	231
9.2.1 实验环境及要求	231
9.2.2 基本原理及硬件设计	231
9.2.3 软件设计	234
9.2.4 代码剖析	234
9.2.5 数据传输	236
9.2.6 实验结果	238
9.3 本章小结	240
第 10 章 TOP-WSN 物联网 ZigBee 综合系统	241
10.1 系统概述	241
10.2 系统组成	242
10.3 ZigBee 烟雾传感器节点设计	242
10.3.1 原理及硬件设计	242
10.3.2 软件设计	243

目 录

10.3.3 核心程序代码	244
10.4 ZigBee 干簧管传感器节点设计	247
10.4.1 原理及硬件设计	247
10.4.2 核心程序代码	249
10.5 ZigBee 电机和灯光传感器节点设计	252
10.5.1 原理及硬件设计	252
10.5.2 核心程序代码	253
10.6 ZigBee 振动传感器节点设计	259
10.6.1 原理及硬件设计	259
10.6.2 核心程序代码	261
10.7 ZigBee 霍尔烟雾传感器节点设计	264
10.7.1 原理及硬件设计	264
10.7.2 软件设计	265
10.7.3 核心程序代码	266
10.8 ZigBee 加速度传感器节点设计	269
10.8.1 原理及硬件设计	269
10.8.2 核心程序代码	271
10.9 单协调器控制多个同类 ZigBee 节点实验	277
10.9.1 基本原理	278
10.9.2 协调器程序下载	278
10.9.3 温湿度传感器模块程序下载	281
10.9.4 性能测试	282
10.10 ZigBee 综合应用案例——智能家居系统	282
10.10.1 ARM 增强型网关	283
10.10.2 系统硬件平台搭建	286
10.10.3 系统初始化及软件流程	286
10.10.4 系统功能演示	290
10.11 本章小结	294
附录 A ZigBee 协议栈中常用的 API	295
附录 B 网络层信息库属性	298
附录 C 术语及缩略词表	299
附录 D ZigBee 示例通信协议	304
参考文献	306

理论基础及开发平台篇

第 1 章 物联网与 ZigBee

第 2 章 ZigBee 技术基础

第 3 章 ZigBee 开发平台

第 1 章

物联网与 ZigBee

1.1 物联网定义与架构

1.1.1 物联网定义

标准不同,物联网的定义也不尽相同。目前,国内普遍认可的物联网(The Internet of Things)定义为:通过射频识别(RFID)、红外感应器、全球定位系统、激光扫描器等信息传感设备,按约定的协议,把任何物品与互联网连接起来,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。物联网示意图如图 1-1 所示。

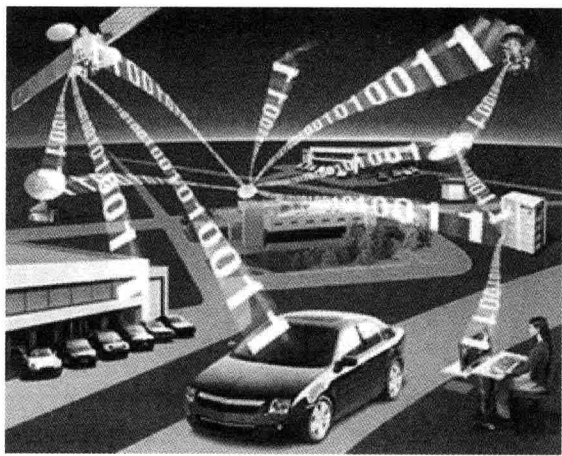


图 1-1 物联网示意图

1.1.2 物联网来源

物联网的概念是美国麻省理工学院(MIT)自动识别技术中心(Auto-ID Center)在 1999 年提出的,要在计算机互联网的基础上,利用 RFID、无线数据通信等技术,构造一个覆盖世界上万事万物的“Internet of Things”。在这个网络中,物品(商品)无需人的干预,就能够彼此进行“交流”。根据这一概念而提出的“物联网”一词,

其实质是利用射频自动识别(RFID)技术,通过计算机互联网实现物品的自动识别和信息的互联与共享。此概念包含两层意思:

- 首先,物联网的核心和基础仍然是互联网,是在互联网基础上的延伸和扩展;
- 其次,其用户端延伸和扩展到了物品与物品之间,物物之间进行信息交换和通信。

Auto-ID 中心与七所知名大学共同组成 Auto-ID 实验室,并进行了一系列实验,通过产品电子码(EPC)分别对货堆、货箱、单个货物加以识别。Auto-ID 实验室与 EPCglobal(国际物品编码协会和美国统一代码委员会下设的一个非盈利性机构)密切合作,准备在全球建立起一个庞大的物品信息交换网络,并且使所有参与流通的物品都具有唯一的产品电子码,具有产品电子码的物品可在网络上准确地定位和追踪,并且为每项物品建立一套完整的电子简历,没有电子简历的伪造商品无法流通。

1.1.3 物联网“物”的基本条件

物联网中的“物”需要满足:

- ① 要有相应信息的接收器;
- ② 要有数据传输通路;
- ③ 要有一定的存储功能;
- ④ 要有 CPU;
- ⑤ 要有操作系统;
- ⑥ 要有专门的应用程序;
- ⑦ 要有数据发送器;
- ⑧ 遵循物联网的通信协议;
- ⑨ 在世界网络中有可被识别的唯一编号。

1.1.4 物联网与智慧地球

物联网也被称为“智慧地球”,如图 1-2 所示。2008 年 IBM 首席执行官彭明盛首次提出“智慧的地球”这一概念,建议美国新政府投资新一代的智慧型基础设施,阐明其短期和长期效益。奥巴马对此给予了积极的回应:“经济刺激资金将会投入到宽带网络等新兴技术中去”。

该战略认为,IT 产业下一阶段的任务是把新一代 IT 技术充分运用在各行各业之中,具体地说,就是把感应器嵌入和装备到电网、铁路、桥梁、隧道、公路、建筑、供水系统、大坝、油气管道等各种物体中,并且被普遍连接,形成所谓“物联网”,然后将“物联网”与现有的互联网整合起来,实现人类社会与物理系统的整合。在这个整合的网络当中,存在能力超级强大的中心计算机群,能够对整合网络内的人员、机器、设备和基础设施实施实时的管理和控制,在此基础上,人类可以以更加精细和动态的方式管理生产和生活,达到“智慧”状态,提高资源利用率和生产力水平,改善人与自然间的关系。

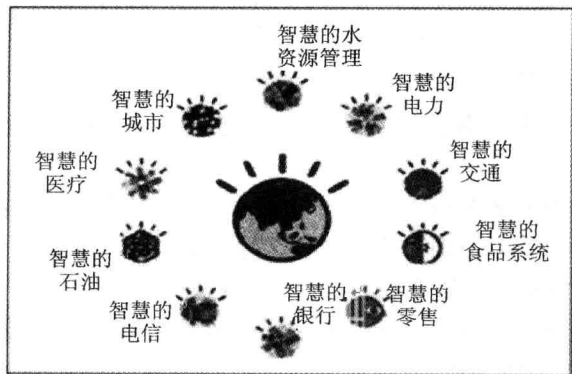


图 1-2 智慧地球

1.1.5 物联网的技术架构

物联网的技术体系框架如图 1-3 所示。物联网的技术体系框架包括感知层、网络层、应用层和公共技术。

感知层:用于采集物理世界中发生的物理事件和数据,包括各类物理量、标识、音频和视频数据。物联网的数据采集涉及传感器、RFID、多媒体信息采集、二维码和实时定位等技术。传感器网络组网和协同信息处理技术实现传感器、RFID 等所获取数据的短距离传输、自组网以及多个传感器对数据的协同信息处理过程。

网络层:实现更加广泛的互联功能,能够把感知到的信息无障碍、高可靠性、高安全性地传送,需要传感器网络与移动通信技术、互联网技术相融合。经过十余年的快速发展,移动通信、互联网等技术已比较成熟,基本能够满足物联网数据传输的需要。

应用层:包含应用支撑平台子层和应用服务子层。其中应用支撑平台子层用于支撑跨行业、跨应用、跨系统之间的信息协同、共享、互通的功能。应用服务子层包括智能交通、智能医疗、智能家居、智能物流、智能电力等行业应用。

公共技术:不属于物联网技术的某个特定层面,而是与物联网技术架构的三层都有关系,它包括标识解析、安全技术、网络管理和服务质量(QoS)管理。

“物联网”被称为继计算机、互联网之后,世界信息产业的第三次浪潮。业内专家认为,物联网一方面可以提高经济效益,大大节约成本;另一方面可以为全球经济的复苏提供技术动力。目前,美国、欧盟、中国等都在投入巨资深入研究探索物联网。我国也正在高度关注、重视物联网的研究,工业和信息化部会同有关部门,在新一代信息技术方面正在开展研究,以形成支持新一代信息技术发展的政策和措施。