

四川省物联网产业发展联盟
成都物联网产业发展联盟

推荐教材

ZigBee

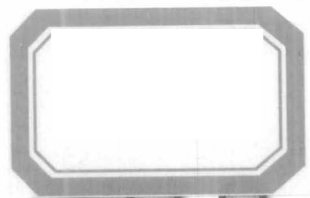
无线传感器网络 设计与实现

王小强 欧阳骏 黄宁淋 编著

粟思科 审校



化学工业出版社



ZigBee

无线传感器网络 设计与实现

王小强 欧阳骏 黄宁淋 编著

粟思科 审校



化学工业出版社

· 北京 ·

本书面向立志于进行 ZigBee 无线传感器网络开发的初学者以及向无线网络开发转型的工程师,按照理论与实践相结合的思想,介绍了 ZigBee 无线传感器网络开发中的基础理论,并给出了具体的实例。

本书针对 ZigBee 无线传感器网络开发过程中的重点、难点问题,既有基础知识的讲述,又有相关配套实验,使读者能容易、快速、全面地掌握无线网络的开发过程。本书从 ZigBee 无线传感器网络点对点通信讲起,逐步讲解了 ZigBee 协议栈的开发过程以及注意的问题,同时给出了部分开发经验和技巧供读者参考。

本书可供从事无线传感器网络开发与应用的人员学习使用,也可作为高等院校电子、通信、自动控制等专业的学习用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

ZigBee 无线传感器网络设计与实现/王小强, 欧阳骏, 黄宁淋编著. —北京: 化学工业出版社, 2012.5

ISBN 978-7-122-13746-3

I. Z… II. ①王… ②欧… ③黄… III. 无线电通信-传感器-网络设计 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 039360 号

责任编辑: 李军亮

文字编辑: 项 澈

责任校对: 边 涛

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张 14¼ 字数 281 千字 2012 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

近年来，无线传感器网络得到了快速的发展，国内也有很多书籍介绍无线传感器网络相关知识。总体而言，主要涉及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无线传感器网络进行的讲解，可能有很多读者学习了上述理论仍然无法搭建一个无线传感器网络。因此，对于工程应用而言，可以先搭建一个无线传感器网络，并进行相关的数据传输、远程控制等实验，在实验过程中遇到问题时再查阅相关的理论知识，这样可以快速地掌握构建无线传感器网络的方法。

对大多数读者而言，在学习新知识的时候很难静下心来去阅读大篇幅概念性的叙述。至少笔者当初在学习的时候是这种心理，总以为那些描述是写给明白人看的，因此，本书的主线是：以 ZigBee 2007 协议为基础，结合智造者科技有限公司的 CC2530-EB ZigBee 多功能开发系统，向读者展示了构建一个符合 ZigBee 2007 协议的无线传感器网络的总体过程，带领读者从实践的角度去理解无线传感器网络构建和开发基础知识，突出重点，各个击破，争取从实践的角度去找到与理论的吻合点。

本书的特点

- 理论与实践相结合。本书以实例为基础，详细阐述了无线传感器网络构建和开发所需要的基础知识，同时恰当地摒弃了部分对于初学者而言暂时不用或者很少用到的知识点，目的在于尽量使学习重点突出。
- 模块化设计与系统设计相结合。

本书的编写原则

- 尽量展现细节，即使有些情况下显得有点啰嗦

书中有些地方可能看似很简单，显得有点啰嗦，但是为了给初学者展现出无线传感器网络构建的全貌，笔者选择了这种编写风格，因为笔者在曾经的学习过程中遇到很多问题，到论坛发帖求助，查资料，经过很长时间才解决，因此为了给读者提供一个完完整整的开发过程，宁可啰嗦一点，也不漏掉细节问题。

- 代码注重的是可读性，没有拘泥于效率和编程规范

本书代码力求通俗易懂，并没有考虑程序执行的效率和编程风格等。如果读者对基本的编程都没有大概了解的话，谈什么编程规范呢。因此，尽快掌握编程才是硬道理，其他问题后续解决。

- 尽量用朴实的语言去描述看似深奥的理论

笔者努力使本书作为一本无线传感器网络构建和开发的指导性用书，努力展现出开发过程中的问题及其解决方法，尽量给读者提供一个参考，使读者少走弯路，因此，笔者选择用尽量通俗的语言来叙述，并不想用艰深晦涩难懂的语言来迷惑读者。

虽然无线传感器网络涉及电子、通信、计算机网络、射频等多学科的知识，但是，本书将给读者一个崭新的学习思路，从应用的角度去学习、理解进而掌握无线传感器网络的基本原理。

本书内容概述

- 第1章简要讲解了 ZigBee 协议的基础知识，同时给出了智造者科技有限公司的 CC2530-EB 开发板的硬件组成，这也是本书的硬件平台。关于具体硬件并没有给出过多的解释，这部分内容渗透在了后续章节实验部分。
- 第2章对 IAR 开发环境进行了讲解，摒弃了部分初学者暂时用不到的功能，突出重点。
- 第3章对 CC2530 开发板硬件资源进行了讲解。
- 第4章对 ZigBee 无线传感器网络中的数据运输进行了讲解。
- 第5章对 ZigBee 协议栈中的 OSAL 进行了讲解，同时给出了部分实验。
- 第6章对 ZigBee 无线传感器网络管理进行了讲解和阐述。
- 第7章对 ZigBee 无线传感器网络中，常用的项目开发经验和技巧进行了阐述。

本书只是 ZigBee 无线传感器网络入门级的读物，阅读完本书后，读者需要结合自己项目的要求，对相应的源代码进行修改，只有通过不断的练习，才能真正掌握 ZigBee 无线传感器网络开发的技术技巧。

适用对象

- ❑ 从事 ZigBee 无线传感器网络开发的相关技术人员
- ❑ 高等院校电子、通信、自动控制等专业学生

编者与致谢

本书主要由王小强、欧阳骏、黄宁淋编著，粟思科审校，参与本书编写的还有李岩、吴川、张凯之、张剑、王治国、钟晓林、王娟、胡静、杨龙、张成林、方明、王波、陈小军、雷晓、李军华、陈晓云、方鹏、龙帆、刘亚航。

配套服务——物联网俱乐部

我们为物联网读者和用户尽心服务，围绕 ZigBee 无线传感器网络技术、产品和项目市场，探讨物联网应用与发展，发掘热点与重点；开展物联网教学。物联网俱乐部 QQ: 183090495，电子邮件 bojiakeji@tom.com，欢迎物联网爱好者和用户联系。

由于编者水平有限，书中难免有不当的地方，恳请广大读者批评指正。

编著者

第①章 ZigBee 简介	1
1.1 无线网络数据传输协议对比	1
1.2 短距离无线网络的分类	3
1.2.1 什么是 ZigBee	3
1.2.2 ZigBee 和 IEEE 802.15.4 的关系	3
1.2.3 ZigBee 的特点	5
1.3 ZigBee 2007 协议简介	6
1.4 ZigBee 无线网络通信信道分析	7
1.5 ZigBee 无线网络拓扑结构	8
1.6 ZigBee 技术的应用领域	9
1.7 CC2530 开发板硬件资源概述	9
1.8 本章小结	11
第②章 IAR 集成开发环境及程序下载流程	12
2.1 IAR 集成开发环境简介	12
2.2 工程的编辑与修改	13
2.2.1 建立一个新工程	13
2.2.2 建立一个源文件	15
2.2.3 添加源文件到工程	16
2.2.4 工程设置	20
2.2.5 源文件的编译	24
2.3 仿真调试与下载	25
2.3.1 仿真调试器驱动的安装	26
2.3.2 程序仿真调试	27
2.4 本章小结	28
2.5 扩展阅读之模块化编程技巧	28
第③章 CC2530 开发板硬件资源详解	30
3.1 核心板硬件资源	30
3.1.1 CC2530 简介	30
3.1.2 天线及巴伦匹配电路设计	31
3.1.3 晶振电路设计	31
3.2 底板硬件资源	32
3.2.1 电源电路设计	32

3.2.2	LED 电路设计	33
3.2.3	AD 转换电路设计	33
3.2.4	串口电路设计	33
3.3	本章小结	33
3.4	扩展阅读之天线基本理论	33
3.4.1	天线的一些基本参数	34
3.4.2	常见的天线形式	35
3.4.3	ZigBee 模块天线选型	35
第 4 章	ZigBee 无线传感器网络入门	36
4.1	ZigBee 协议栈	36
4.1.1	什么是 ZigBee 协议栈	37
4.1.2	如何使用 ZigBee 协议栈	37
4.1.3	ZigBee 协议栈的安装、编译与下载	38
4.2	ZigBee 协议栈基础实验：数据传输实验	40
4.2.1	协调器编程	40
4.2.2	终端节点编程	51
4.2.3	实例测试	57
4.3	ZigBee 数据传输实验剖析	58
4.3.1	实验原理及流程图	58
4.3.2	数据发送	59
4.3.3	数据接收	60
4.4	ZigBee 数据包的捕获	61
4.4.1	如何构建 ZigBee 协议分析仪	61
4.4.2	ZigBee 数据包的结构	63
4.4.3	ZigBee 网络数据传输流程分析	64
4.4.4	数据收发实验回顾	66
4.5	本章小结	66
4.6	扩展阅读之 ZigBee 协议栈数据包格式	67
第 5 章	ZigBee 无线传感器网络提高	69
5.1	深入理解 ZigBee 协议栈的构成	69
5.2	ZigBee 协议栈 OSAL 介绍	72
5.2.1	OSAL 常用术语	73
5.2.2	OSAL 运行机理	74
5.2.3	OSAL 消息队列	80

5.2.4	OSAL 添加新任务	81
5.2.5	OSAL 应用编程接口	83
5.3	ZigBee 协议栈中串口应用详解	85
5.3.1	串口收发基础实验	86
5.3.2	实例测试	89
5.3.3	串口工作原理剖析	93
5.4	ZigBee 协议栈串口应用扩展实验	99
5.4.1	实验原理及流程图	99
5.4.2	协调器编程	100
5.4.3	终端节点编程	103
5.4.4	实例测试	107
5.5	无线温度检测实验	107
5.5.1	实验原理及流程图	108
5.5.2	协调器编程	109
5.5.3	终端节点编程	113
5.5.4	实例测试	119
5.6	ZigBee 协议栈中的 NV 操作	119
5.6.1	NV 操作函数	120
5.6.2	NV 操作基础实验	122
5.6.3	实例测试	125
5.7	本章小结	126
5.8	扩展阅读之一: ZigBee 协议中规范 (Profile) 和簇 (Cluster) 的概念	126
5.9	扩展阅读之二: 探究接收数据的存放位置	129
第 6 章 ZigBee 无线传感器网络管理		133
6.1	ZigBee 网络中的设备地址	133
6.2	ZigBee 无线网络中的地址分配机制	134
6.3	单播、组播和广播	137
6.4	网络通信实验	140
6.4.1	广播和单播通信	140
6.4.2	组播通信	148
6.5	ZigBee 协议栈网络管理	159
6.5.1	网络管理基础实验	159
6.5.2	网络管理扩展实验	166
6.5.3	获得网络拓扑	173

6.6	本章小结	173
6.7	扩展阅读之建立网络、加入网络流程分析	174

第7章 ZigBee 无线传感器网络综合实战 **180**

7.1	ZigBee 无线传感器网络获取网络拓扑实战	180
7.1.1	系统设计原理	180
7.1.2	协调器编程	181
7.1.3	终端节点和路由器编程	186
7.1.4	实例测试	191
7.2	ZigBee 无线传感器网络通用传输系统设计	194
7.2.1	系统设计原理	194
7.2.2	软件编程概述	195
7.2.3	协调器编程	196
7.2.4	路由器和终端节点编程	198
7.3	ZigBee 无线传感器网络远程数据采集系统设计	199
7.3.1	系统设计原理	199
7.3.2	协调器编程	200
7.3.3	终端节点和路由器编程	204
7.3.4	实例测试	212
7.4	太阳能供电的 ZigBee 无线传感器网络节点设计	213
7.4.1	系统设计所面临的问题	213
7.4.2	系统构架分析	213
7.5	本章小结	214
7.6	扩展阅读之天线基本理论	214

参考文献	217
-------------------	------------

近年来，无线网络得到了快速的发展，在此过程中也出现了各种无线网络数据传输标准，诸如 WiFi™、Wireless USB、Bluetooth™、Wibree，不同的协议标准对应不同的应用领域，例如，WiFi™主要用于大量数据的传输，Wireless USB 主要用于视频数据的传输等。

现今，物联网技术得到了快速的发展，与此相关的一些技术如 RFID、无线传感器网络也得到了快速的发展。与此同时，各种无线传感器网络协议标准也日渐规范化，其中得到广泛应用和推广的一种协议就是 ZigBee 2007 协议，TI 公司已经推出了完全兼容该协议的 SoC 芯片 CC2530，同时也开发出了相关的软件协议栈 Z-Stack，开发者可以使用上述硬件和软件资源，搭建自己的无线传感器网络。

本章主要讨论了 ZigBee 的产生、发展过程，向读者展示了 ZigBee 的特点以及相关应用领域，帮助初学者快速入门。

1.1 无线网络数据传输协议对比

现在比较流行的无线网络数据传输协议有 WiFi™、Wireless USB、Bluetooth™、Cellular 等，不同的协议都有各自的应用领域，因此，选择网络协议时，要根据不同的应用来选择某一种特定的协议。

那么，ZigBee 协议与上述协议有什么关系？ZigBee 协议的优点在哪里？ZigBee 协议主要用在哪些应用领域？

各种无线数据传输协议对比图如图 1-1 所示。

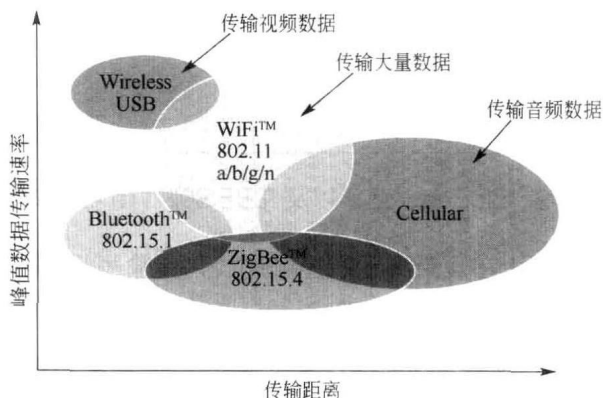


图 1-1 各种无线数据传输协议对比图

从图 1-1 中可以看到不同的无线数据传输协议在数据传输速率和传输距离有各自的使用范围。

ZigBee、蓝牙以及 IEEE 802.11b 标准都是工作在 2.4GHz 频段的无线通信标准，下面将 ZigBee 与蓝牙、IEEE 802.11b 标准进行简要的比较，帮助读者快速地了解 ZigBee 与现有的标准的优点。

- 蓝牙数据传输速率小于 3Mbps，典型数据传输距离为 2~10m，蓝牙技术的典型应用是在两部手机之间进行小量数据的传输。
- IEEE 802.11b 最高数据传输速率可达 11Mbps，典型数据传输距离在 30~100m，IEEE 802.11b 技术提供了一种 Internet 的无线接入技术，如很多笔记本电脑可以使用自带的 WiFi 功能实现上网。
- ZigBee 协议可以理解为一种短距离无线传感器网络与控制协议，主要用于传输控制信息，数据量相对来说比较小，特别适用于电池供电的系统。此外，相对于上述两种标准，ZigBee 协议更容易实现（或者说实现成本较低）。

ZigBee、蓝牙以及 IEEE 802.11b 标准对比情况如表 1-1、图 1-2 所示。

表 1-1 ZigBee、蓝牙以及 IEEE 802.11b 标准对比

项目	数据速率	数据传输距离/m	典型应用领域
ZigBee	20~250kbps	10~100	无线传感器网络
蓝牙	1~3Mbps	2~10	无线手持设备、无线鼠标
IEEE 802.11b	1~11Mbps	30~100	无线 Internet 接入

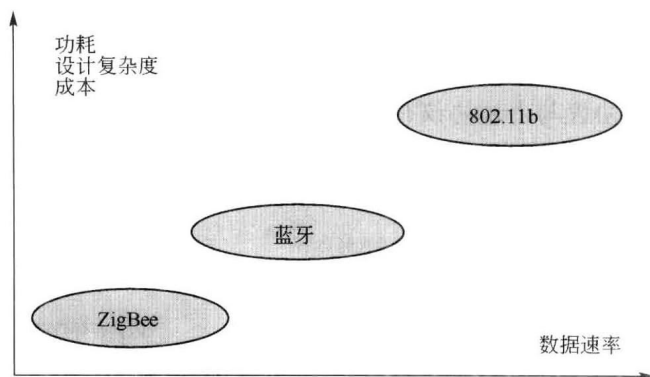


图 1-2 ZigBee、蓝牙以及 IEEE 802.11b 标准对比

因此，ZigBee 主要用在短距离无线控制系统，传输少量的控制信息。例如，在智能家居领域中，ZigBee 可以用来传输控制灯亮或灯灭的控制信息。

注意：

ZigBee 数据速率较低，因此不适合传输大量数据的应用领域。

1.2 短距离无线网络的分类

短距离无线网络主要分为两类：

- 无线局域网（WLANs, Wireless Local Area Networks）；
- 无线个域网（WPANs, Wireless Personal Area Networks）。

无线局域网是有线局域网（LANs, Wired Local Area Networks）的扩展，一个无线局域网设备可以很容易地接入有线局域网。

无线个域网是为了在 POS（Personal Operating Space）范围内提供一种高效、节能的无线通信方法，其中 POS 是指以无线设备为中心半径 10m（33ft）内的球形区域。

按照数据传输速率的不同，无线个域网又分为三种：

- HR-WPANS——High-Rate WPLANS；
- MR-WPANS——Medium-Rate WPLANS；
- LR-WPANS——Low-Rate WPLANS。

上述三类无线个域网所对应的协议如表 1-2 所示。

表 1-2 无线个域网所对应的通信协议

WPANS	通信协议	WPANS	通信协议	WPANS	通信协议
HR-WPANS	802.15.3	MR-WPANS	BlueTooth	LR-WPANS	802.15.4

1.2.1 什么是 ZigBee

ZigBee 是一种标准，该标准定义了短距离、低数据传输速率无线通信所需要的一系列通信协议。基于 ZigBee 的无线网络所使用的工作频段为 868MHz、915MHz 和 2.4GHz，最大数据传输速率为 250kbps。

下面通过一个具体的例子向读者展示一下 ZigBee 的具体应用。在病人监控系统中，病人的血压可以通过特定的传感器检测，因此，可以将血压传感器和 ZigBee 设备相连，ZigBee 设备定期检测病人的血压，将血压数据以无线的方式发送到服务器，服务器可以将数据传输到医生的电脑上，医生就可以根据病人的血压数据进行恰当的诊断。

1.2.2 ZigBee 和 IEEE 802.15.4 的关系

在设计网络的软件构架时，一般采用分层的思想，不同的层负责不同的功能，数据只能在相邻的层之间流动。例如，以太网中分层模型是 ISO 国际化标准组织提出的 OSI（Open System Interconnection）七层参考模型，如图 1-3 所示。

ZigBee 协议也在 OSI 参考模型的基础上，结合无线网络的特点，采用分层的思想实现。ZigBee 无线网络各层示意图如图 1-4 所示。



图 1-3 OSI 参考模型

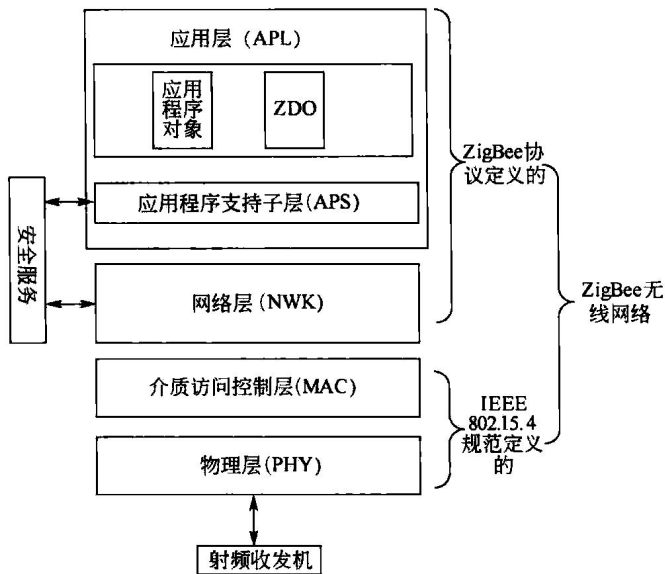


图 1-4 ZigBee 无线网络各层示意图

从图 1-4 可以看出，ZigBee 无线网络共分为 5 层：

- 物理层 (PHY)；
- 介质访问控制层 (MAC)；
- 网络层 (NWK)；
- 应用程序支持子层 (APS)；
- 应用层 (APL)。

采用分层思想有很多优点，例如，当网络协议的一部分发生变化时，可以很容

易地对与此相关的几个层进行修改,其他层不需要改变即可。读者是否可以从图 1-4 中看出 ZigBee 和 IEEE 802.15.4 的联系呢?

从图 1-4 中可以看出,IEEE 802.15.4 仅仅是定义了物理层 (PHY) 和介质访问控制层 (MAC) 的数据传输规范,而 ZigBee 协议定义了网络层、应用程序支持子层以及应用层的数据传输规范,这就是 ZigBee 无线网络。

1.2.3 ZigBee 的特点

总体而言,ZigBee 技术具有如下特点:

(1) 高可靠性

对于无线通信而言,由于电磁波在传输过程中容易受很多因素的干扰,例如,障碍物的阻挡、天气状况等,因此,无线通信系统在数据传输过程中,具有内在的不可靠性。无线控制系统作为无线通信的一个小的分支,在数据传输过程中,也具有不可靠性。

ZigBee 联盟在制定 ZigBee 规范时已经考虑到这种数据传输过程中的内在的不确定性,采取了一些措施来提高数据传输的可靠性,主要包括:物理层兼容高可靠的短距离无线通信协议 IEEE 802.11.5 同时使用 OQPSK 和 DSSS 技术;使用 CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance) 技术来解决数据冲突问题;使用 16-bits CRC 来确保数据的正确性;使用带应答的数据传输方式来确保数据正确的传输目的地址;采用星形网络尽量保证数据可以沿着不同的传输路径从源地址到达目的地址。

(2) 低成本、低功耗

ZigBee 技术可以应用于 8-bit MCU,目前 TI 公司推出的兼容 ZigBee 2007 协议的 SoC 芯片 CC2530 每片价格在 20~35 元,外接几个阻容器件构成的滤波电路和 PCB 天线即可实现网络节点的构建。

关于低功耗问题需要说明一下,ZigBee 网络中的设备主要分为三种:

- 协调器 (Coordinator),主要负责无线网络的建立和维护;
- 路由器 (Router),主要负责无线网络数据的路由;
- 终端节点 (End Device),主要负责无线网络数据的采集。

低功耗仅仅是对终端节点而言,因为路由器和协调器需要一直处于供电状态,只有终端节点可以定时休眠,下面通过一个例子向读者展示一下终端节点的低功耗是如何实现的。

例如,一般情况下,市面上每节 5 号电池的电量是 1500mA·h,对于两节 5 号电池供电的终端节点而言,总电量为 3000mA·h,即电池以 1mA 电流放电,可以连续放电 3000h (理论值),如果放电电流为 100mA,则可以连续放电 30h。

- 终端节点在数据发送期间需要的瞬时电流是 29mA；
- 数据接收期间所需要的瞬时电流为 24mA。

再加上各种传感器所需的工作电流，为了讨论问题方便，假设各种传感器所需的工作电流为 30mA（这个工作电流已经很大了），那么数据发送期间所需要的总电流为 59mA，数据接收期间所需要的总电流为 54mA，为了讨论问题方便，总电流取 60mA，表面上 2 节 5 号电池可以供终端节点连续工作 50h。

但是，对应实际系统，终端节点对数据的采集一般是定时采集，例如采集温度数据，由于温度变化减慢，所以可以定时采集，在此假设终端节点每小时工作 50s，其他时间都在休眠（其他时间都在休眠，休眠时工作电流在微安级，所以可以忽略不计）。

那么实际上情况是：系统采用 2 节 5 号电池供电，终端节点工作电流为 60mA，每小时工作 50s（其他时间都在休眠，休眠时工作电流在微安级，所以可以忽略不计），可以计算出 2 节 5 号电池可以供终端节点工作时间为： $3600h=150$ 天，即大约半年时间，这也就是很多介绍 ZigBee 技术的书籍中提到的“对于 ZigBee 终端节点，使用 2 节 5 号电池供电，可以工作半年的时间”的理论依据。

请读者注意，上述分析是针对的终端节点，对于路由节点和协调器而言，要一直供电来确保数据的正确路由，所以一般不谈低功耗问题。

注意：

在本书第 7 章中讲解太阳能供电的 ZigBee 无线传感器网络设计一节中会对上述问题进行展开讲解，如果读者在此不理解也没有关系。

（3）高安全性

为了保证数据传输的安全性，可以使用 AES-128 加密技术，但是对于初学阶段，安全性问题可以不予考虑。

（4）低数据速率

无线控制系统对数据传输的可靠性和安全性、系统功耗和成本等方面有着特殊的要求，因此，目前的无线网络协议没有很好地解决这些特殊的要求。

1.3 ZigBee 2007 协议简介

ZigBee 2007 规范定义了 ZigBee 和 ZigBee PRO 两个基本特性集，该规范比 ZigBee 2006 协议更具有应用前景，该协议主要应用领域有：

- 家庭自动化（Home Automation）；
- 商业楼宇自动化（Building Automation）；
- 自动读表系统（Automatic Meter Reading）。

注意：

关于 ZigBee 2007 协议的更多技术细节，请参见本书网络实验部分，笔者力图给读者展现一个较为轻松的学习过程，在此，相信很多读者对于无线网络的拓扑、路由等知识还没有基本的认识，因此，笔者没有对 ZigBee 2007 的网络拓扑、路由等知识进行讲解，笔者会选择合适的实验环境，将这部分知识展示给读者。

1.4 ZigBee 无线网络通信信道分析

天线对于无线通信系统来说至关重要，在日常生活中可以看到各式各样的天线，如手机天线、电视接收天线等，天线的主要功能可以概括为：完成无线电波的发射与接收。发射时，把高频电流转换为电磁波发射出去；接收时，将电磁波转换为高频电流。

如何区分不同的电波呢？

一般情况，不同的电波具有不同的频谱，无线通信系统的频谱有几十兆赫兹到几千兆赫兹，包括了收音机、手机、卫星电视等使用的波段，这些电波都使用空气作为传输介质来传播，为了防止不同的应用之间相互干扰，就需要对无线通信系统的通信信道进行必要的管理。

各个国家都有自己的无线电管理结构，如美国的联邦通信委员会（FCC）、欧洲的典型标准委员会（ETSI），我国的无线电管理机构称为中国无线电管理委员会，其主要职责是负责无线电频率的划分、分配与指配、卫星轨道位置协调和管理、无线电监测、检测、干扰查处，协调处理电磁干扰事宜和维护空中电波秩序等。

一般情况，使用某一特定的频段需要得到无线电管理部门的许可，当然，各国的无线电管理部门也规定了一部分频段是对公众开放的，不需要许可即可使用，以满足不同的应用需求，这些频段包括 ISM（Industrial、Scientific and Medical——工业、科学和医疗）频带。

除了 ISM 频带外，在我国，低于 135kHz，在北美、日本等地，低于 400kHz 的频带也是免费频段。各国对无线频谱的管理不仅规定了 ISM 频带的频率，同时也规定了在这些频带上所使用的发射功率，在项目开发过程中，需要查阅相关的手册，如我国信息产业部发布的《微功率（短距离）无线电设备管理规定》。

IEEE 802.15.4（ZigBee）工作在 ISM 频带，定义了两个频段，2.4GHz 频段和 896/915MHz 频带。在 IEEE 802.15.4 中共规定了 27 个信道：

- 在 2.4GHz 频段，共有 16 个信道，信道通信速率为 250kbps；
- 在 915MHz 频段，共有 10 个信道，信道通信速率为 40kbps；

- 在 896MHz 频段，有 1 个信道，信道通信速率为 20kbps。

注意：

2.4GHz 是全球通用的 ISM 频段，915MHz 是北美的 ISM 频段，896MHz 是欧洲认可的 ISM 频段。bps 是指每秒钟传输的二进制位数，即比特每秒。

ISM 频段信道分布图如图 1-5 所示。

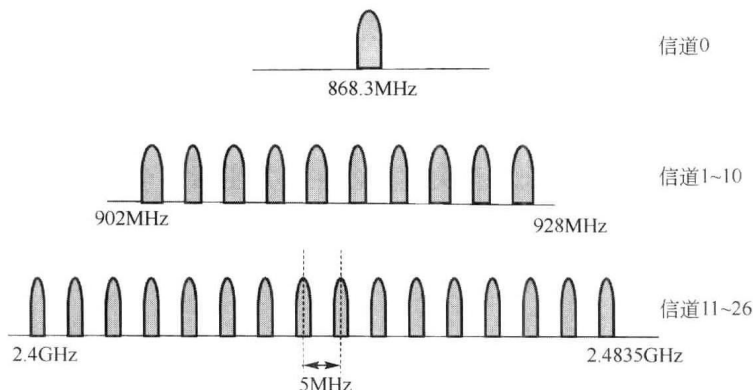


图 1-5 ISM 频段信道分布图

1.5 ZigBee 无线网络拓扑结构

ZigBee 网络拓扑结构主要有星型网络和网型网络。不同的网络拓扑对应于不同的应用领域，在 ZigBee 无线网络中，不同的网络拓扑结构对网络节点的配置有不同的要求（网络节点的类型可以是协调器、路由器和终端节点，具体配置需要根据配置文件决定），在本书后面章节将进行讲解，在此，读者只需要对网络拓扑结构有个概念性的认识即可。

星型网络拓扑图如图 1-6 所示。

网型网络拓扑图如图 1-7 所示。

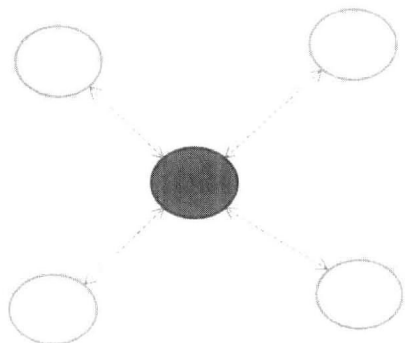


图 1-6 星型网络拓扑图

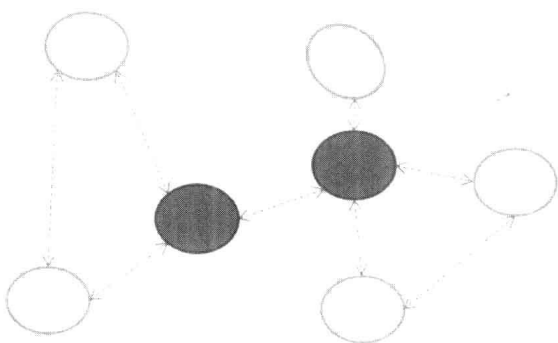


图 1-7 网型网络拓扑图