



“十二五”科学技术专著丛书

无线传感器网络技术

——基于CC2530与STM32W108芯片的实例与实训

赵成 郭荣幸 编著

WUXIAN CHUANGANQI WANGLUO JISHU

—JIYU CC2530 YU STM32W108 XINPIAN DE SHILI YU SHIXUN



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

无线传感器网络技术

——基于 CC2530 与 STM32W108 芯片的实例与实训

赵 成 郭荣幸 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书立足无线传感器网络技术的应用与实践,较为全面地介绍了以 CC2530 为基础,应用 Z-Stack 协议栈设计 ZigBee 无线传感器网络的典型应用工程。为了进一步向 IPv6 无线传感器网络的设计与开发延伸,介绍了 Contiki 操作系统开发 IPv6 WSNs 的入门级应用工程。

本书结合 Z-Stack 协议栈与 Contiki 操作系统,介绍了无线传感器网络的应用开发技术。第一部分是 Z-Stack 协议栈应用部分,主要介绍 HA 工程、SampleApp 工程、ZNP 工程、SE 工程的设计。第二部分是 Contiki 操作系统部分,主要介绍 Contiki 程序结构、Contiki 点对点通信、Contiki 单播与多播通信的设计。最后,附录中给出了实践 WSNs 技术的实训工单。

本书内容丰富、文字简练、图文并茂,突出具体的应用设计,力求作为指导实践、讲授方法性质的教材。本书可作为物联网工程、传感器网络、通信工程等专业高年级本科生及研究生的教材,也可供从事无线传感器网络系统开发的工程技术人员、科研人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

无线传感器网络技术:基于 CC2530 与 STM32W108 芯片的实例与实训 / 赵成, 郭荣幸编著. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2016. 6

ISBN 978-7-5635-4735-7

I. ①无… II. ①赵… ②郭… III. ①无线电通信—传感器 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 073425 号

书 名: 无线传感器网络技术——基于 CC2530 与 STM32W108 芯片的实例与实训

著作责任者: 赵 成 郭荣幸 编著

责任编辑: 徐振华 孙宏颖

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编: 100876)

发行部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京通州皇家印刷厂

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 16

字 数: 397 千字

版 次: 2016 年 6 月第 1 版 2016 年 6 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-4735-7

定 价: 32.00 元

• 如有印装质量问题请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

随着物联网产业的发展,开设物联网工程专业的大中专院校逐渐增多,与此同时,处于物联网产业链上的众多国内外厂商,已经研发并生产出应用于 IoT 的各类软硬件产品,包括微处理器、集成开发环境及仿真器等开发设备。无线传感器网络是物联网的核心研究对象之一,处于当前新的物联网生态环境之中,无线传感器网络的研究与应用现状无疑受到了深刻的影响与改变,未来的发展趋势必将是无线传感器网络技术的普及,包括理论算法的创新普及与系统应用的创新普及。

本书立足传统,着眼于未来。所谓立足传统,是指在“控制器+RF 芯片”模式的基础上,开发新的无线传感器网络。目前,支持创建无线传感器网络的芯片比较多,这里选用集成 8051 控制器与 RF 控制器的 CC2530 微处理器。CC2530 可以自成系统,也提供了支持传统开发模式的资源,符合基于单片机的开发习惯,便于升级原有的射频系统。所谓着眼未来,是指面向 6LoWPAN 以及 IPv6 传感器网络的开发,这里选用 STM32W108 芯片,基于 Contiki 操作系统开发 IPv6 无线传感器网络应用工程。Contiki 操作系统是开源的操作系统,网络协议实现得较完备,便于用户订制开发。

本书作为一本工科教材,定位于偏重实践应用的高校物联网专业教材,既面向设计与开发,又顾及加工与生产。在设计与开发方面,介绍了 4 种典型的基于 Z-Stack 协议栈开发的 ZigBee 网络应用项目,介绍了 3 种典型的基于 IPv6 开发的 Contiki 无线传感器网络应用项目。特别是给出了无线传感器网络的实施工单,更加贴近于工厂中实际的加工与生产。本书编写时,尽量从平时参考的技术手册中提取第一手材料,并直接借用生产线上用于品质管控的表单。本书所列的 WSNs 工程项目在平时指导实验、实训、课程设计与毕业设计的过程中不断地使用与改进,并且部分技术已经用在实际的科研项目中。

全书共 10 章,分两部分介绍无线传感器网络应用技术。第一部分包含第 1~7 章,介绍基于 Z-Stack 协议栈的 ZigBee 网络的开发;第二部分包含第 8~10 章,介绍基于 Contiki 操作系统开发的 IPv6 无线传感器网络应用项目。第一部分基于 CC2530 芯片与 Z-Stack 协议栈,依次介绍了无线传感器网络的概念、CC2530 芯片与 STM32W108 芯片的应用基础、HA 工程的设计、SampleApp 工程的设计、ZNP 工程的设计以及 SE 工程的设计。第二部分基于 STM32W108 芯片与 Contiki 操作系统,依次介绍了 Contiki 程序的结构、Contiki 简单程序的设计、Contiki 点对点通信的设计、Contiki 单播与多播通信系统的设计。Z-Stack 协议栈与 Contiki 操作系统相互补充,通过具体的应用程序设计与分析,可以逐步掌握设计与开

发无线传感器网络应用工程的方法。本书每章均配有习题,便于读者掌握和巩固知识,书后附有附录供实践实训课程使用。使用本教材的教学参考学时为 32~48 学时。

本书第 1、2、3、9 章由郭荣幸编写;第 10 章由周鹏教授编写;其余由赵成编写。全书由赵成统稿。

在本书的撰写过程中,学院领导与同事始终给予了热情的支持与鼓励,张经纬同学细心地调试了书中的全部程序代码,无锡泛泰科技公司以及迪卡工作室的工程师们也给予了无私的技术支持,在此一并致谢。本书能够出版,还得益于多项省科技攻关项目、国家自然科学基金(61162018)、航空基金(2015ZD55005)的支持。

限于作者水平及成书时间的关系,书中难免存在错误和不妥之处,诚望读者批评指正。

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 ZigBee 无线传感器网络与物联网	1
1.1.1 物联网技术正在兴起	1
1.1.2 物联网的概念	2
1.1.3 物联网的特点	2
1.1.4 无线传感器网络与物联网	3
1.1.5 ZigBee 是实现 WSNs 的重要技术	5
1.2 无线传感器网络	7
1.2.1 国内外研究现状	7
1.2.2 WSNs 体系结构	8
1.2.3 WSNs 拓扑结构	9
1.2.4 WSNs 的特点	9
1.2.5 WSNs 的关键技术	11
1.2.6 WSNs 面临的挑战	11
1.2.7 WSNs 的应用领域	12
1.3 ZigBee 技术	14
1.3.1 IEEE 802.15.4 标准	14
1.3.2 ZigBee 技术规范	21
1.3.3 ZigBee 技术的特点	22
1.3.4 ZigBee 联盟工业标准	23
1.3.5 ZigBee 关键技术	25
1.3.6 ZigBee 开发环境	28
1.3.7 ZigBee 技术的发展	29
1.3.8 ZigBee 技术的应用领域	31
本章小结	31
习题	32

第 2 章 CC2530 与 STM32W108 微处理器	33
2.1 CC2530 芯片的器件特性	33
2.1.1 CC2530 芯片的特性概览	33
2.1.2 CC2530 的功能结构	35
2.1.3 CC2530 射频模块的特性指标	36
2.2 CC2530 的应用电路设计	37
2.2.1 CC2530 的管脚分布	37
2.2.2 CC2530 的应用电路设计	38
2.2.3 CC2530 应用电路调试	40
2.3 STM32W108 简介	40
2.3.1 STM32W108 芯片概览	40
2.3.2 STM32W108 芯片的特性	41
2.3.3 STM32W108 芯片的应用领域	42
本章小结	42
习题	42
第 3 章 802.15.4 MAC 层协议	44
3.1 IEEE 802.15.4 MAC 层协议	44
3.1.1 FFD 设备与 RFD 设备	44
3.1.2 网络拓扑结构	45
3.1.3 MAC 层规范	46
3.2 MAC 层的数据与管理	53
3.2.1 数据接口与服务接口	53
3.2.2 数据服务	53
3.2.3 管理服务	56
3.3 TIMAC 实现的 MAC 层协议	66
3.3.1 TIMAC 简介	66
3.3.2 TIMAC 原理	66
3.3.3 TIMAC 的应用实践	68
本章小结	79
习题	80
第 4 章 ZCL 与 ZigBee 家庭自动化应用	81
4.1 ZigBee 簇库	81
4.1.1 ZigBee 簇库简介	81
4.1.2 ZCL 层功能	82
4.1.3 ZCL 应用工程结构	82
4.2 ZCL 基础层与常用功能域	84

4.2.1 ZCL 基础层	84
4.2.2 ZCL 通用域	85
4.2.3 ZCL 协议接口域	86
4.3 基于 ZCL 的灯控系统	86
4.3.1 SampleLight 工程	86
4.3.2 SampleSwitch 工程	104
本章小结	109
习题	110
第 5 章 Z-Stack 协议栈组网	111
5.1 Z-Stack 应用基础	111
5.1.1 OSAL 任务	111
5.1.2 网络组建	113
5.1.3 设备绑定与发现	113
5.2 Z-Stack 应用程序流程	114
5.2.1 初始化操作	114
5.2.2 事件处理	115
5.2.3 消息流	118
5.3 Z-Stack 无线温湿度传感器网络	119
5.3.1 设计目的	119
5.3.2 传感器串口协议格式	119
5.3.3 无线温湿度数据测量程序	120
5.3.4 编译与运行	124
本章小结	126
习题	126
第 6 章 ZNP 应用系统设计	127
6.1 ZNP 接口规范	127
6.1.1 ZNP 概述	127
6.1.2 CC2530-ZNP 的物理接口	130
6.1.3 CC2530-ZNP 的软件指令接口	134
6.2 ZNP 应用工程分析	138
6.2.1 ZNP 程序结构分析	138
6.2.2 关键函数分析	140
6.2.3 射频测试程序	146
6.3 ZNP 应用工程实践	149
6.3.1 ZNP 实践目的	149
6.3.2 ZNP 实践方案	149
6.3.3 ZNP 实践结果	151

本章小结	154
习题	155
第 7 章 智能能源应用系统设计	156
7.1 智能能源应用基础	156
7.1.1 智能能源工程简介	156
7.1.2 SE 工程原理	157
7.2 ESP、PCT 与 IPD 应用工程	162
7.2.1 ESP 应用工程	162
7.2.2 PCT 应用工程	168
7.2.3 IPD 应用工程	171
7.3 智能能源工程实践	174
7.3.1 SE 工程实践目的	174
7.3.2 SE 工程实践方案	175
7.3.3 SE 工程实践效果	175
本章小结	176
习题	177
第 8 章 Contiki 系统应用基础	178
8.1 Contiki 操作系统	178
8.1.1 Contiki 系统简介	178
8.1.2 Contiki 的特性	179
8.1.3 事件驱动	179
8.1.4 μ IP 协议栈	180
8.2 Contiki 系统开发环境	181
8.2.1 安装 IAR 开发软件	181
8.2.2 安装 Cygwin 虚拟软件	181
8.2.3 安装 Contiki 软件	185
8.3 Contiki Hello world	187
8.4 Contiki LED 控制	189
8.5 Contiki 按键控制	192
本章小结	194
习题	194
第 9 章 Contiki 点对点通信	196
9.1 Contiki 点对点通信基础	196
9.1.1 地址类型	196
9.1.2 地址函数	198
9.1.3 RPL DAG 创建	200

9.1.4 服务器端核心	203
9.2 Contiki 点对点通信实践	206
本章小结	216
习题	217
第 10 章 Contiki 单播多播通信	218
10.1 Contiki 单播多播基础	218
10.1.1 Contiki 系统定时器	218
10.1.2 Contiki 系统的服务	219
10.1.3 Contiki 系统 UDP 通信	221
10.2 Contiki 单播多播通信实践	223
本章小结	235
习题	235
附录 A 测试工单 I(实训)	236
附录 B 焊接工单(实训)	239
附录 C 测试工单 II(实训)	243
参考文献	244

第1章 概述

基于 ZigBee 技术构建的无线传感器网络已经成为一种全新的信息获取和处理模式。无线传感器网络最初是由于军事需要而发展起来的,随着微机电系统(MEMS)、无线通信网络和嵌入式系统等技术的深入开发与融合,无线传感器网络集成了传感器技术、嵌入式计算技术、分布式信息处理技术和通信技术的最新成果,开始拥有了新的内涵。

无线传感器网络的应用也越来越广泛,现在已经从军事领域普及到社会的各个领域,可用来监控环境指标、机器设备的运行数据甚至人体的功能参数,从而真正实现“普适计算”的理念。无线传感器网络追求更低的功耗,更低的成本,以及更简易的使用性能,在这种情况下,ZigBee 技术应运而生,弥补了低成本、低功耗和低速率无线通信市场的空缺,为无线传感器网络发展提供了有力的支持。

本章主要介绍 ZigBee 无线传感器网络的基础概念。首先从物联网的兴起、定义与特点开始,以递进的方式阐述无线传感器网络在物联网中的重要作用与意义,以及基于 ZigBee 技术构建无线传感器网络的优势。接着,介绍无线传感器网络的发展过程、协议栈的组成、关键技术与实现形式等基础内容。最后,介绍 ZigBee 无线通信技术的基本概念。

学习目标

- 了解无线传感器网络(WSNs)的概念。
- 了解 WSNs 在物联网中的应用。
- 了解 ZigBee 技术的相关概念。

1.1 ZigBee 无线传感器网络与物联网

1.1.1 物联网技术正在兴起

2009 年 8 月,随着“感知中国”概念的提出,物联网也被正式列为国家五大新兴战略性新兴产业之一。随后,在 2012 年 2 月 14 日,工业与信息化部正式发布了《物联网“十二五”发展规划》,这标志着中国物联网(Internet of Things, IoT)时代的到来。与此同时,处于产业链上的国内外相关知名厂商,已经研发并生产出应用于 IoT 的各类软硬件产品,包括微处理器、集成开发环境及仿真器等开发设备。物联网产业正呈现出蓬勃兴起的趋势。

1.1.2 物联网的概念

物联网的概念最早于 1999 年由美国麻省理工学院 (MIT) 自动识别中心 (Auto-ID Labs) 提出,早期的物联网是指依托射频识别 (Radio Frequency Identification, RFID) 技术和设备,按约定的通信协议与互联网相结合,使物品信息实现智能化识别和管理,实现物品信息互联而形成的网络。随着技术和应用的发展,物联网内涵不断扩展。现代意义的物联网可以实现对物的感知识别控制、网络化互联和智能处理有机统一,从而形成高智能决策。

2005 年,国际电信联盟 (ITU) 在信息社会世界峰会 (WSIS) 上提出“物联网 IoT”的概念,并发布《ITU 互联网报告 2005:物联网》。自此,物联网正式走入人们的视野。2012 年 7 月初,ITU-T 第 13 研究组批准了新的标准,确定了物联网 (IoT) 定义:物联网是信息社会的一个全球基础设施,它基于现有和未来可互操作的信息和通信技术,通过物理的和虚拟的物物相联,来提供更好的服务。

2011 年国家工业和信息化部电信研究院发布的《物联网白皮书》中这样定义: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。

1.1.3 物联网的特点

(1) 物联网扩展了信息节点

互联网是将不同拓扑结构的众多计算机 (网络) 通过路由器、交换机连接在一起,实现计算机间的互联互通,共享全球的信息资源。与互联网不同,物联网扩展了接入的信息节点类型,网络设备不再限于通常意义上的计算机设备。可以说,物联网是将众多的智能传感器设备以不同的拓扑结构组成网络,汇集各个网络传感器节点的信息,实现物与物的互联互通,分享监测到的数据信息。

(2) 广义上说,物联网是互联网的一部分,是互联网的延伸

虽然物联网的网络模型与互联网的网络模型存在一定的差异,如图 1-1 所示。但是,网络追求设备互联互通的本质是相同的。通过物联网网关设备,物联网 (IoT) 可以加入到广域互联网 (Internet),这样可以实现更广泛的数据监测与设备控制。

Data Layer	数据层
End-to-End Layer	端对端层
Network Layer	网络层
ID Layer	身份识别层
Data Link Layer	数据链路层
Physical Layer	物理层

(a) 欧盟定义的物联网六层网络模型

Application Layer	应用层
Presentation Layer	表示层
Session Layer	会话层
Transport Layer	传输层
Network Layer	网络层
Data Link Layer	数据链路层
Physical Layer	物理层

(b) 互联网 OSI/RM 七层网络模型

图 1-1 物联网与互联网的网络模型对比

1.1.4 无线传感器网络与物联网

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSNs)是物联网领域中应用的重要技术之一。

客观地讲,物联网底层的传输技术包括有线网络和无线网络。目前,人们谈论物联网时,往往对无线通信方式更感兴趣,尤其关注新兴的无线通信技术在物联网中的应用前景。事实上,无线通信技术并不是物联网未来唯一选择发展的底层传输技术,有线通信技术一直以来也占据着不可或缺的重要地位,对物联网产业来说可能同等重要,并且两者具有互相补充的作用,例如,工业化和信息化“两化融合”业务中大部分还是有线通信,智能楼宇等领域也还是以有线通信为主。

1. 短距离有线通信简述

为了充分认识无线网络在物联网中的发展状况与趋势,这里首先对常用的短距离现场总线技术做了一些归类整理,列出了对应的应用范围,如表 1-1 所示,通过对比,也许会对大家在物联网实际应用中考虑该选择哪种技术有所帮助。

表 1-1 常用的短距离现场总线

名 称	技术参数	应用领域	发起者
LonWorks 总线	采用双绞线、同轴电缆、光纤、射频、红外线、电力线等传输,可承载 32 000 个节点,最远传输距离为 27 km,最高通信速率为 1.25 Mbit/s	楼宇自动化 电力自动化 家庭自动化 办公自动化 工业过程控制	Echelon 公司
Profibus 总线	采用双绞线或光缆传输,可承载 127 个节点,最远传输距离为 1.2 km,最高通信速率为 12 Mbit/s	加工自动化 可编程控制器 低压开关 楼宇自动化	Siemens 公司
DeviceNet 总线	采用五芯电缆传输,可承载 64 个节点,最快传输速率 500 kbit/s,传输距离为 500 m	加工制造业	ODVA 协会
InterBus 总线	采用同轴电缆或光缆传输,可承载 255 个节点,最快传输速率 12 Mbit/s,传输距离为 100 m	汽车、烟草、仓储、造纸、包装、食品等工业	Phoenix Contact 公司
ControlNet 总线	采用双绞线传输,可承载 48 个节点,最远传输距离为 400 m,最快传输速率 5 Mbit/s	航空国防	Rockwell Automation 公司
ModBus 总线	标准的 ModeBus 总线接口对等 RS-232C 与 RS-485接口	仪器仪表 变送器 变频器	Schneider Modicon 公司
CAN 总线	采用双绞线传输,可承载 110 个节点,最远传输距离为 10 km,最快传输速率 1 Mbit/s	汽车工业 医疗设备 能源管理	Bosch 公司

短距离现场总线发展较早,种类繁多,已经部署了巨量的节点,各类型的现场总线之间没有统一的标准化网络协议,只能通过开发中间件进行协议转换,也称为“适配器”方法,该方法可以很方便地将有线节点网络建设为物联网的基础设施。

但是,囿于有线网络自身的弱点,其缺少广泛性、灵活性与运动性,例如,搜索某一部书籍在图书馆藏书库中的具体位置,追踪红酒在运输过程中的状态等,这些任务无论是从地理广度、节点密度,还是从检测方式、通信手段等各方面考察,有线网络都不能发挥其作用,“奈何力有所不逮,技术有所不及”。

2. 短距离无线通信简述

与此同时,以智能手机的普及使用为标志,无线通信技术的发展上了一个新台阶,人们体验到并且更期待无线通信技术带来的愉悦感。用户的需求无疑进一步加速了无线通信技术的发展,并将无线通信技术的应用推向前台,正成为物联网不断创新变化的重要推动力。

这里列出了几种目前热门的短距离无线通信技术,如表 1-2 所示,这也是构建无线传感器网络的技术基础。

表 1-2 常用的短距离无线通信技术

名 称	技术参数	典型器件	应用领域
RFID	ISO11784/85 ISO15693、ISO14443 ISO18000-6B/6C	HITAG-1/2/ μ /S 系列 MIFARE Class 系列 UCODE 系列	动物识别、电子产品、零售服饰、图书馆、快速消费品
RF Transceiver	2-FSK、4-FSK、GFSK、MSK、OOK、ASK	CC1101、CC1020 CC1100E、CC1150	无线抄表、便携式医疗仪表、智能仪表
BlueTooth	工作在 2.4 GHz 通用 ISM 频段,采用每秒 1 600 跳的调频扩频技术	BCM2045、BCM2048、BCM2049	通信终端、办公设备、医疗保健、家用电子、游戏机
Wi-Fi	IEEE 802.11 系列标准	ralink3370、WL1273	无线安防、视频监控
ZigBee	基于 IEEE 802.15.4 协议标准,采用 DSSS 通信,使用 868 MHz、915 MHz、2.4 GHz ISM 频段,进行 BPSK 或 O-QPSK 调制	CC2430、STM32W108、AT86RF231、CC2530	家庭自动化、遥测遥控、物流管理、安防设备、工业和楼宇自动化

3. 无线传感器网络

物联网将网络连接延伸到了任意的物品与物品之间、物品与人之间的“个域”范围。这种连接实质上是各类传感器的连接,传感器设备组成了比传统意义上的互联网更为庞大的网络。从技术层面看,物联网中的传感器要组织成为“生态网络”,需要融合传感器技术、嵌入式系统技术、现代网络,以及无线通信技术等各个方面的知识和应用。

简单地看,在物联网中,针对不同的应用场合和控制对象,传感器的分布位置不尽相同,在这种情况下,大量的分布式传感器如果采用有线网络相互连接,就构成了有线传感器网络;相应地,众多分布式传感器如果采用无线网络相互连接,就构成了无线传感器网络。

这里选择无线传感器网络进行介绍,主要是考虑两个方面的问题。一方面,有线网络

(包括短距离现场总线)通信技术一段时间以来没有太大的创新性突破,传统的应用虽然在现有领域已经成熟,但是在面对新的应用需求时,已经无法提供有效的策略及实施方案。另一方面,无线通信技术在取得突飞猛进的发展,一些初期的无线通信技术规范经过不断的开发终于得到标准化并形成产业生态系统,如 ZigBee 技术的应用;一些成熟的具有标准规范的无线通信技术在不间断的竞争中进行了完善与版本升级,如 Bluetooth 4.0 版本的发布。

目前,无线通信技术,特别是短距离无线通信技术得到越来越多的关注与应用,这是毋庸置疑的。但是,应用于物联网中的无线通信技术毕竟还属于新事物,仍然存在很多客观的问题需要研究,故而这里选择无线传感器网络进行介绍。

为了进一步了解无线传感器网络与物联网的关系,应该清楚物联网的体系层次架构。物联网在体系构架上分为 3 层:

① 感知层。负责提供全面的感知能力,即利用 RFID、传感器、二维码等技术实时地获取被控/被测物品的信息。

② 传输层。负责数据信息的可靠传输,通过各种电信网络与互联网的无缝联接,将物品的信息实时、准确、可靠地传递到目标地址。

③ 应用层。负责数据的智能处理,利用现代控制技术和智能计算方法,对数据信息进行分析、计算与处理,根据结果进行相应的显示、存储或对被测/被控对象实施智能化的控制。

现在可以明白,感知层属于物联网构架中的基础设施,也是物联网发展和应用的基础,涉及 RFID 技术、传感器技术、短距离无线通信(Near Field Communication, NFC)等主要技术。

一般来说,感知层由传感器节点及接入网关组成,传感器节点感知物品信息,并自行组网,再通过接入网关将感知信息传送到传输层。狭义上讲,无线传感器网络是由感知层中应用 NFC 技术联接的无线传感器节点和接入网关组成的。广义上讲,无线传感器网络可以更广泛,等同于基于无线通信技术构建的物联网的感知层与汇聚层,具有特定的网络体系架构。需要从狭义与广义两个方面了解无线传感器网络的概念。

通过以上的简要介绍,可以了解无线传感器网络(WSNs)与物联网的关系,这里将无线传感器网络视为物联网底层网络的重要组成部分,也是物联网未来重点发展的技术之一。

1.1.5 ZigBee 是实现 WSNs 的重要技术

无线通信(包括 NFC)技术的种类众多,要构建物联网中的无线传感器网络(WSNs),需要利用低功耗短距离无线通信技术进行数据的发送和接收,显然 NFC 技术更加合适。那么,具体应该选择 NFC 技术中的哪一种通信技术来实现呢?答案不是唯一的,到底选择哪一种 NFC 技术,要根据具体的应用需求而定。但是,无线传感器网络一般都追求更低的功耗,更低的成本,以及更简易的使用性能,依照这些共性的衡量指标,还是能选择出一种相对来说更合适的 NFC 技术的。

为了便于比较与选择,一些常用的 NFC 技术列于表 1-3 中,表中给出了细化的技术指标。

表 1-3 常用的 NFC 技术的指标对照

名称 项目	RFID	RF Transceiver	BlueTooth	Wi-Fi	ZigBee
带 宽	200+KB/s	75 KB/s	720 KB/s	11 000+KB/s	20~250 KB/s
成 本	低	低	中	高	低
功 耗	低	低	中	低	低
规范标准	ISO14443		802.15.1	802.11b	802.15.4
系统资源	<4 KB	<4 KB	250 KB+	1 MB+	4~32 KB+
电池续航		300+天	1~7 天	0.5~5 天	100~1 000+天
组网规模	无	小	7	32	65 535
通信距离	1~30+cm	1~100+m	1~10+m	1~100 m	1~100+m
加密类型	私有算法	私有算法	3DES	TKIP/AES	AES
组网能力	无	简单	可自组网	可自组网	自动组网能力
网络形态	点对点	星型网络	点对点/星型	点对点/Mesh	星、树、Mesh 型
自动修复	无	无	支持	支持	支持
扩展能力	无	无	低	低	支持,简单方便

结合 NFC 技术的指标对照表,从以下几个方面进行综合的考量。

(1) 成本方面

在物联网的无线传感器网络中,覆盖的网络节点数以百计,单个节点的成本问题就显得尤为突出。因此,在设计之初就需要考虑在满足系统需求的条件下,采用什么技术方案才能将节点的硬件成本降低到足够低。

(2) 功耗方面

在物联网的无线传感器网络中,传感器节点的应用领域不同,分布位置差异很大,数量级也较大,基本上都需要独立供电,一般是安装电池电源,如果功耗较高,后期对系统设备维护的工作量就会比较大,同时,频繁更换电源的设备也不实用。因此,在功耗方面,要求比较苛刻,节点的功耗越低越能满足需求。

(3) 传感器平台支持

无线传感器网络的操作系统必须支持相应的传感器平台,传感器平台容纳的传感器数量称为组网规模。无线传感器网络在保证感知数据处理高效性的前提下,支持的传感器平台越大则能力越强。

(4) 应用便捷性

在开发时,对硬件系统的需求越小越容易实现;在应用时,支持的网络拓扑类型越多越容易提高网络的健壮性;在网络管理方面,组网能力、自动修复能力及扩展能力直接体现了应用的便捷性。

分析以上提出的 4 个方面的需求,通过对比表 1-3 中的各项内容,可以发现,IEEE 802.15.4 具有低功耗、低成本、易实现、易使用的特性,该标准的许多特征与 WSNs 无线传输的要求具有相似之处,因此,众多厂商将基于 IEEE 802.15.4 规范标准的 ZigBee 技术作为 WSNs 的无线通信平台。

从市场发展情况观察,ZigBee 技术得到越来越广泛的应用。目前已经有 600 多项 ZigBee

产品得到了 ZigBee 联盟的认证,并且有 400 多个公司从事 ZigBee 产品的研发与生产,如图 1-2 所示(图片来自 zigbee.org)。粗略估计,在 2015 年,基于 IEEE 802.15.4 规范标准的无线设备有一半都将是 ZigBee 设备;在 2016 年,仅家用能源管理设备一项的市场预期就达到 43 亿美元。可以预见,未来 ZigBee 技术将拥有巨大的发展空间。



图 1-2 ZigBee 技术的市场发展情况

综合来说,ZigBee 技术实现的无线传感器网络,即 ZigBee 无线传感器网络,是物联网技术的核心内容之一,也是广义互联网重要的基础组成部分。

1.2 无线传感器网络

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)由部署在监测区域内大量的低成本、低功耗微型传感器节点组成,节点之间通过无线通信形成一个多跳自组织网络系统,是涉及物联网感知层与传输层汇聚网络的重要技术形式。随着无线通信、传感器技术、嵌入式应用和微机电系统技术的日趋成熟,WSNs 的处理能力也越来越强,逐步实现在任何时间、任何地点、任何环境条件下获取人们所需信息的目标,从而推动物联网技术向更加成熟与完善的方向发展。由于 WSNs 具有自组织、部署迅捷、高容错性和强隐蔽性等技术优势,因此非常适用于战场环境信息收集、健康数据监测、气象数据融合和海洋探测等众多领域。

随着 WSNs 技术在面向物联网领域的应用不断地拓展和创新,国内外的科研机构及产业界相关厂商对于 WSNs 的研究,已经从局部 WSNs 感知逐步扩展到广域物物互联层面,从物联网的感知层到汇聚层都涉及 WSNs 的部署与运行。

1.2.1 国内外研究现状

(1) 在 WSNs 的发表物、会议和组织方面

2003 年由 Elsevier Science 出版社创刊的 Ad Hoc Networks 期刊是刊登 WSNs 技术相