

实用性和系统性



实验和项目案例



课件和源码资源

# ZigBee

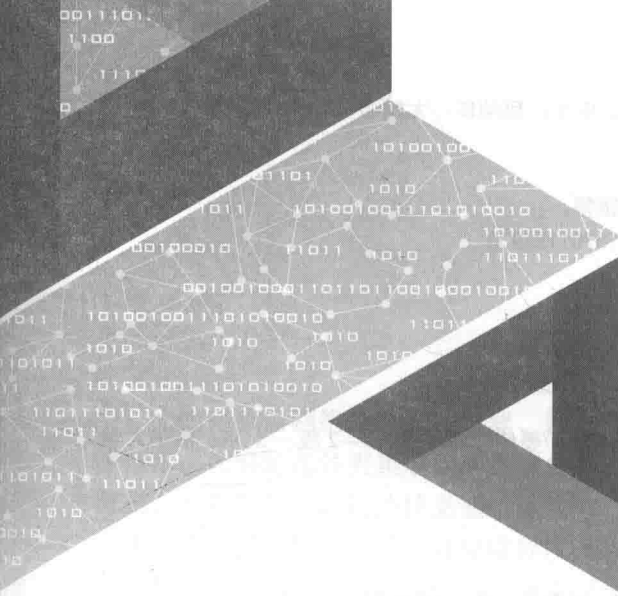
## 技术与实训教程

——基于CC2530的无线传感网技术(第2版)

© 姜仲 刘丹 编著

清华大学出版社





# ZigBee

## 技术与实训教程

——基于CC2530的无线传感网技术(第2版)



◎ 姜仲 刘丹 编著

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书以 ZigBee 无线传感网络技术为主要对象, 以基于 CC2530 芯片 (TI 公司) 为核心的硬件平台, 在介绍了常用传感器编程的基础上, 深入剖析了 TI 的 Z-Stack 协议栈架构和编程接口, 并详细讲述了如何在此基础上开发自己的 ZigBee 项目。

本书可作为工程技术人员进行单片机、无线传感器网络应用、ZigBee 技术等项目开发的学习、参考用书, 也可作为高等院校高年级本科生或研究生计算机、电子、自动化、无线通信等课程的教材。

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 技术与实训教程: 基于 CC2530 的无线传感网技术/姜仲, 刘丹编著. —2 版.—北京: 清华大学出版社, 2018

(21 世纪高等学校物联网专业规划教材)

ISBN 978-7-302-49646-5

I. ①Z… II. ①姜… ②刘… III. ①无线电通信—传感器 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 033880 号

责任编辑: 魏江江 薛 阳

封面设计: 刘 键

责任校对: 梁 毅

责任印制: 杨 艳

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈: 010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者: 北京国马印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 21 字 数: 512 千字

版 次: 2014 年 5 月第 1 版 2018 年 8 月第 2 版 印 次: 2018 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 21001~23000

定 价: 49.50 元

产品编号: 076090-01

无线传感器网络综合了传感器、嵌入式计算、现代网络及无线通信和分布式信息处理等技术，能够通过各类集成化的微型传感器协同完成对各种环境或监测对象的信息的实时监测、感知和采集，这些信息通过无线方式被发送，并以自组多跳的网络方式传送到用户终端，从而实现物理世界、计算世界以及人类社会这三元世界的连通。传统的无线网络关心的是如何在保证通信质量的情况下实现最大的数据吞吐率，而无线传感器网络主要用于实现不同环境下各种缓慢变化参数的检测，通信速率并不是其主要考虑的因素，它最关心的是在体积小、布局方便以及能量有限的情况下尽可能地延续目前网络的生命周期。

ZigBee 技术是一种近距离、低复杂度、低功耗、低速率、低成本的双向无线通信技术。主要用于距离短、功耗低且传输速率不高的各种电子设备之间进行数据传输以及典型的有周期性数据、间歇性数据和低反应时间数据传输的应用。因此非常适用于家电和小型电子设备的无线控制指令传输。其典型的传输数据类型有周期性数据（如传感器）、间歇性数据（如照明控制）和重复低反应时间数据（如鼠标）。由于其节点体积小，且能自动组网，所以布局十分方便；又因其强调由大量的节点进行群体协作，网络具有很强的自愈能力，任何一个节点的失效都不会对整体任务的完成造成致命性影响，所以特别适合用来组建无线传感器网络。

用 ZigBee 技术来实现无线传感器网络，主要需要考虑通信节点的硬件设计，包括传感数据的获得及发送，以及实现相应数据处理功能所必需的应用软件开发。TI（德州仪器公司）的 CC2530 芯片实现 ZigBee 技术的优秀解决方案，完全符合 ZigBee 技术对节点“体积小、能耗低”的要求，另外，TI 还提供了 Z-Stack 协议栈，尽可能地减轻了开发者的开发通信程序的工作量，使开发者能专注于实现业务逻辑。

编写本书的主要目的是从实训的角度使用 CC2530 芯片和 Z-Stack 协议栈来实现无线传感器网络，为读者解析用 ZigBee 技术开发无线传感器网络的各个要点，由浅入深地讲述如何开发具体的无线传感器网络系统。

## ◆ 内容概述

本书分为 6 个部分：

第 1 部分包括第 1~3 章，概述了无线传感器网络的基本理论。第 1 章概述了无线传感器网络的主要概念；第 2 章主要介绍了 IEEE 802.15.4 无线传感器网络通信标准；第 3 章主要介绍了 ZigBee 协议规范基础理论知识，使读者对无线传感器网络有整体上的认识。

第2部分包括第4章,讲述了开发具体项目所依赖的软硬件平台。

第3部分包括第5章,基于核心芯片CC2530内部硬件模块设计了若干个实验,使读者熟悉核心芯片CC2530的主要功能。

第4部分包括第6章和第7章,介绍如何使用CC2530控制各种常见的传感器。第6章讲述常用传感器数字温湿度传感器DHT11、光强度传感器模块等常见的传感器操作方法;第7章介绍使用CC2530实现红外信号的收发操作。

第5部分包括第8章,深入介绍Z-Stack协议栈,使读者初步掌握Z-Stack的工作机制,讲述了使用Z-Stack的一些基本概念,讲述了Z-Stack轮转查询式操作系统的工作原理,以及Z-Stack串口机制和绑定机制。

第6部分包括第9~11章,介绍了TI-Stack协议栈开发的三个项目,第9章为智能家居系统;第10章为智能温室系统;第11章为学生考勤管理系统。

编者

2018年1月

## 图书资源支持

感谢您一直以来对清华版图书的支持和爱护。为了配合本书的使用,本书提供配套的资源,有需求的读者请扫描下方的“书圈”微信公众号二维码,在图书专区下载,也可以拨打电话或发送电子邮件咨询。

如果您在使用本书的过程中遇到了什么问题,或者有相关图书出版计划,也请您发邮件告诉我们,以便我们更好地为您服务。

### 我们的联系方式:

地 址: 北京海淀区双清路学研大厦 A 座 707

邮 编: 100084

电 话: 010-62770175-4604

资源下载: <http://www.tup.com.cn>

电子邮件: [weijj@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:weijj@tup.tsinghua.edu.cn)

QQ: 883604 (请写明您的单位和姓名)

用微信扫一扫右边的二维码,即可关注清华大学出版社公众号“书圈”。

资源下载、样书申请



书圈

# 目录

## CONTENTS

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 第 1 章 无线传感器网络                   | 1  |
| 1.1 无线传感器网络概述                   | 1  |
| 1.2 无线传感器网络的发展历程                | 2  |
| 1.3 无线传感器网络的研究现状和前景             | 3  |
| 1.4 无线传感器网络的特点                  | 3  |
| 1.5 无线传感器网络体系结构                 | 5  |
| 1.6 无线传感器网络的关键技术                | 8  |
| 1.7 无线传感器网络的应用与发展               | 9  |
| 1.8 典型短距离无线通信技术                 | 10 |
| 1.9 无线传感器网络的主要研究领域              | 13 |
| 第 2 章 IEEE 802.15.4 无线传感器网络通信标准 | 15 |
| 2.1 IEEE 802.15.4 标准概述          | 15 |
| 2.2 网络组成和拓扑结构                   | 18 |
| 2.3 协议栈架构                       | 20 |
| 2.4 物理层规范                       | 21 |
| 2.5 MAC 层规范                     | 23 |
| 2.6 MAC/PHY 信息交互流程              | 29 |
| 2.7 基于 IEEE 802.15.4 标准的无线传感器网络 | 29 |
| 第 3 章 ZigBee 无线传感器网络通信标准        | 32 |
| 3.1 ZigBee 标准概述                 | 32 |
| 3.2 ZigBee 技术特点                 | 33 |
| 3.3 ZigBee 协议框架                 | 35 |
| 3.4 ZigBee 网络层规范                | 35 |
| 3.5 ZigBee 应用层规范                | 38 |
| 3.6 ZigBee 安全服务规范               | 40 |

|   |    |
|---|----|
| 第4章 ZigBee 开发平台                                   | 41 |
| 4.1 ZigBee 硬件开发平台                                 | 42 |
| 4.1.1 CC2530 射频模块                                 | 42 |
| 4.1.2 调试器接口                                       | 44 |
| 4.1.3 ZigBee 学习板                                  | 44 |
| 4.2 ZigBee 软件开发平台                                 | 47 |
| 4.2.1 IAR 简介                                      | 47 |
| 4.2.2 IAR 基本操作                                    | 48 |
| 第5章 CC2530 基础实验                                   | 54 |
| 5.1 CC2530 无线片上系统概述                               | 54 |
| 5.1.1 CC2530 芯片主要特性                               | 55 |
| 5.1.2 CC2530 的应用领域                                | 55 |
| 5.1.3 CC2530 概述                                   | 56 |
| 5.1.4 CC2530 芯片引脚的功能                              | 58 |
| 5.1.5 CC2530 增强型 8051 内核简介                        | 59 |
| 5.2 通用 I/O 端口                                     | 60 |
| 5.2.1 通用 I/O 端口简介                                 | 60 |
| 5.2.2 通用 I/O 端口相关寄存器                              | 60 |
| 5.2.3 实验 1: 点亮 LED                                | 61 |
| 5.2.4 实验 2: 按键控制 LED 交替闪烁                         | 63 |
| 5.3 外部中断  | 64 |
| 5.3.1 中断概述  | 64 |
| 5.3.2 中断屏蔽  | 65 |
| 5.3.3 中断处理  | 68 |
| 5.3.4 实验: 按键中断控制 LED                              | 71 |
| 5.4 定时器   | 73 |
| 5.4.1 片内外设 I/O                                    | 73 |
| 5.4.2 定时器简介                                       | 74 |
| 5.4.3 定时器 1 寄存器                                   | 75 |
| 5.4.4 定时器 1 操作                                    | 76 |
| 5.4.5 16 位计数器                                     | 77 |
| 5.4.6 实验 1: 定时器 1 控制 LED 闪烁                       | 78 |
| 5.4.7 定时器 3 概述                                    | 79 |
| 5.4.8 实验 2: 定时器 1 和定时器 3 同时控制 LED1 和 LED2 以不同频率闪烁 | 80 |
| 5.5 1602 型 LCD                                    | 82 |
| 5.5.1 1602 型 LCD 简介                               | 82 |
| 5.5.2 1602 型 LCD 引脚功能                             | 82 |



|        |                    |     |
|--------|--------------------|-----|
| 5.5.3  | 1602 型 LCD 的特性     | 83  |
| 5.5.4  | 1602 型 LCD 字符集     | 83  |
| 5.5.5  | 1602 型 LCD 基本操作程序  | 83  |
| 5.5.6  | 1602 型 LCD 指令集     | 84  |
| 5.5.7  | 1602 型 LCD 4 线连接方式 | 85  |
| 5.5.8  | 实验: LCD 显示实验       | 85  |
| 5.6    | USART              | 90  |
| 5.6.1  | 串行通信接口             | 90  |
| 5.6.2  | 串行通信接口寄存器          | 91  |
| 5.6.3  | 设置串行通信接口寄存器波特率     | 93  |
| 5.6.4  | 实验 1: UART 发送      | 93  |
| 5.6.5  | UART 接收            | 95  |
| 5.6.6  | 实验 2: UART 发送与接收   | 96  |
| 5.7    | ADC                | 99  |
| 5.7.1  | ADC 简介             | 99  |
| 5.7.2  | ADC 输入             | 99  |
| 5.7.3  | ADC 寄存器            | 100 |
| 5.7.4  | ADC 转换结果           | 102 |
| 5.7.5  | 单个 ADC 转换          | 102 |
| 5.7.6  | 片内温度传感器实验          | 102 |
| 5.8    | 睡眠定时器              | 104 |
| 5.8.1  | 睡眠定时器简介            | 104 |
| 5.8.2  | 睡眠定时器寄存器           | 105 |
| 5.8.3  | 实验: 睡眠定时器唤醒实验      | 105 |
| 5.9    | 时钟和电源管理            | 110 |
| 5.9.1  | CC2530 电源管理简介      | 110 |
| 5.9.2  | CC2530 电源管理控制      | 111 |
| 5.9.3  | CC2530 振荡器和时钟      | 111 |
| 5.9.4  | 实验: 中断唤醒系统实验       | 111 |
| 5.10   | 看门狗                | 114 |
| 5.10.1 | 看门狗模式              | 115 |
| 5.10.2 | 定时器模式              | 115 |
| 5.10.3 | 看门狗定时器寄存器          | 116 |
| 5.10.4 | 实验: 看门狗实验          | 116 |
| 5.11   | DMA                | 118 |
| 5.11.1 | DMA 操作             | 119 |
| 5.11.2 | DMA 配置参数           | 119 |
| 5.11.3 | DMA 配置安装           | 122 |

|            |                      |            |
|------------|----------------------|------------|
| 5.11.4     | 实验: DMA 传输           | 123        |
| <b>第6章</b> | <b>常用传感器</b>         | <b>127</b> |
| 6.1        | 数字温湿度传感器 DHT11       | 127        |
| 6.1.1      | DHT11 简介             | 127        |
| 6.1.2      | DHT11 典型应用电路         | 127        |
| 6.1.3      | DHT11 串行接口           | 128        |
| 6.1.4      | DHT11 串行接口通过程程       | 128        |
| 6.1.5      | 实验: DHT11 实验         | 129        |
| 6.2        | 红外人体感应模块实验           | 133        |
| 6.2.1      | 红外人体感应模块功能特点         | 133        |
| 6.2.2      | 红外人体感应模块实物           | 133        |
| 6.2.3      | 实验: 红外人体感应模块实验       | 134        |
| 6.3        | 结露传感器实验              | 134        |
| 6.3.1      | HDS05 结露传感器特性曲线      | 135        |
| 6.3.2      | HDS05 结露传感器电路设计      | 135        |
| 6.3.3      | HDS05 结露传感器实物        | 135        |
| 6.3.4      | 实验: 结露传感器实验          | 136        |
| 6.4        | 烟雾传感器模块              | 138        |
| 6.4.1      | 烟雾传感器模块的功能特点         | 138        |
| 6.4.2      | 烟雾传感器模块实物            | 138        |
| 6.4.3      | 实验: 烟雾传感器模块实验        | 139        |
| 6.5        | 光强度传感器模块             | 139        |
| 6.5.1      | GY-30 数字光模块介绍        | 139        |
| 6.5.2      | 数字光模块实物              | 140        |
| 6.5.3      | I2C 总线介绍             | 140        |
| 6.5.4      | 实验: 光强度传感器模块实验       | 141        |
| <b>第7章</b> | <b>CC2530 实现红外通信</b> | <b>148</b> |
| 7.1        | 红外通信简介               | 148        |
| 7.1.1      | 红外线通信的特点             | 148        |
| 7.1.2      | 红外线发射和接收             | 148        |
| 7.1.3      | 红外线遥控发射和接收电路         | 149        |
| 7.1.4      | 红外发射电路               | 150        |
| 7.1.5      | NEC 协议               | 150        |
| 7.2        | 实验 1: 中断方式发射红外信号     | 150        |
| 7.3        | 实验 2: PWM 方式输出红外信号   | 157        |
| 7.4        | 实验 3: 红外接收实验         | 161        |

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 第 8 章 Z-Stack 协议栈                    | 165 |
| 8.1 Z-Stack 协议栈基础                    | 165 |
| 8.1.1 Z-Stack 协议栈简介                  | 165 |
| 8.1.2 Z-Stack 协议栈基本概念                | 165 |
| 8.1.3 Z-Stack 的下载与安装                 | 168 |
| 8.2 Sample Application 工程            | 169 |
| 8.2.1 Sample Application 工程简介        | 169 |
| 8.2.2 Sample Application 工程概况        | 170 |
| 8.2.3 Sample Application 工程初始化与事件的处理 | 170 |
| 8.2.4 Sample Application 工程事件的处理函数   | 172 |
| 8.2.5 Sample Application 工程流程        | 173 |
| 8.3 OSAL 循环                          | 178 |
| 8.3.1 Z-Stack 的任务调度                  | 178 |
| 8.3.2 Z-Stack 主函数                    | 179 |
| 8.3.3 Z-Stack 任务的初始化                 | 180 |
| 8.3.4 Z-Stack 的系统主循环                 | 181 |
| 8.4 数据的发送和接收                         | 184 |
| 8.4.1 网络参数的设置                        | 184 |
| 8.4.2 数据的发送                          | 186 |
| 8.4.3 数据的接收                          | 189 |
| 8.5 修改 LED 驱动                        | 191 |
| 8.6 修改按键驱动                           | 195 |
| 8.6.1 Z-Stack 的按键机制概述                | 195 |
| 8.6.2 Z-Stack 按键的宏定义                 | 195 |
| 8.6.3 Z-Stack 按键初始化代码分析              | 196 |
| 8.6.4 Z-Stack 按键的配置                  | 199 |
| 8.6.5 Z-Stack 轮询方式按键处理               | 201 |
| 8.6.6 Z-Stack 中断方式按键处理               | 206 |
| 8.7 Z-Stack 2007 串口机制                | 213 |
| 8.7.1 串口配置                           | 213 |
| 8.7.2 串口初始化                          | 215 |
| 8.7.3 串口接收数据                         | 220 |
| 8.7.4 Z-Stack 串口发送数据                 | 225 |
| 8.8 Z-Stack 启动分析                     | 227 |
| 8.8.1 启动配置                           | 227 |
| 8.8.2 Z-Stack 启动相关概念                 | 228 |
| 8.8.3 SampleApp 工程协调器启动过程分析          | 232 |
| 8.9 ZigBee 绑定机制                      | 236 |

|                   |                                |            |
|-------------------|--------------------------------|------------|
| 8.10              | SimpleApp 工程                   | 237        |
| 8.10.1            | SimpleApp 的打开                  | 237        |
| 8.10.2            | SimpleApp 启动分析                 | 238        |
| 8.11              | 灯开关实验                          | 240        |
| 8.11.1            | SimpleController.c             | 240        |
| 8.11.2            | SimpleSwitch.c                 | 244        |
| 8.11.3            | 灯开关实验其他函数分析                    | 248        |
| 8.12              | 传感器采集实验                        | 249        |
| 8.12.1            | 采集节点 SimpleCollector.c         | 249        |
| 8.12.2            | 传感器节点 SimpleSensor.c           | 251        |
| <b>第9章 智能家居系统</b> |                                | <b>254</b> |
| 9.1               | 智能家居系统设计                       | 254        |
| 9.1.1             | 智能家居系统的需求分析                    | 254        |
| 9.1.2             | 智能家居系统分析                       | 255        |
| 9.1.3             | 智能家居系统软件设计                     | 255        |
| 9.2               | 智能家居系统开发环境的搭建                  | 256        |
| 9.2.1             | Mini6410 ARM11 开发板             | 256        |
| 9.2.2             | 建立 Android 应用开发环境              | 256        |
| 9.2.3             | 在 Andorid 程序中访问串口              | 260        |
| 9.2.4             | Android 上的 Servlet 服务器 i-jetty | 261        |
| 9.3               | 智能家居系统下位机程序设计                  | 262        |
| 9.3.1             | 下位机程序设计思路                      | 262        |
| 9.3.2             | 一键报警功能下位机实现                    | 262        |
| 9.3.3             | 水浸报警功能下位机实现                    | 263        |
| 9.3.4             | 中断方式报警的红外入侵传感器的实现              | 264        |
| 9.4               | 智能家居系统设置模块的实现                  | 265        |
| 9.4.1             | SQLite 简介                      | 265        |
| 9.4.2             | Android 系统中 SQLite 数据库的操作      | 266        |
| 9.4.3             | 智能家居系统设置模块的实现                  | 267        |
| 9.5               | 智能家居系统监听服务的实现                  | 270        |
| 9.5.1             | Android Service                | 270        |
| 9.5.2             | Android 多线程                    | 271        |
| 9.5.3             | 短信的发送与接收                       | 273        |
| 9.5.4             | 智能家居系统监听服务的实现                  | 274        |
| 9.6               | Web 方式访问智能家居系统                 | 279        |
| 9.6.1             | ContentProvider 简介             | 280        |
| 9.6.2             | ContentProvider 操作             | 280        |
| 9.6.3             | 创建 ContentProvider             | 282        |

|               |                                  |            |
|---------------|----------------------------------|------------|
| 9.6.4         | Web 方式访问智能家居系统                   | 283        |
| <b>第 10 章</b> | <b>智能温室系统</b>                    | <b>290</b> |
| 10.1          | 智能温室系统设计                         | 290        |
| 10.1.1        | 智能温室定义                           | 290        |
| 10.1.2        | 智能温室系统的需求分析                      | 290        |
| 10.1.3        | 智能温室系统分析                         | 291        |
| 10.2          | 智能温室系统控制功能的实现                    | 291        |
| 10.2.1        | 继电器                              | 291        |
| 10.2.2        | 控制板中控制电路的实现                      | 292        |
| 10.2.3        | 智能温室系统控制功能的实现                    | 293        |
| 10.3          | 智能温室系统休眠功能的实现                    | 294        |
| 10.4          | 协调器直接访问 Web 服务器                  | 295        |
| 10.4.1        | 设置 wificp210x 模块                 | 295        |
| 10.4.2        | 使用 wificp210x 模块访问 Web 服务器       | 296        |
| 10.4.3        | 编程实现 ZigBee 协调器数据上传至 Web 服务器     | 297        |
| <b>第 11 章</b> | <b>学生考勤管理系统</b>                  | <b>299</b> |
| 11.1          | 学生考勤管理系统设计                       | 299        |
| 11.1.1        | 校园一卡通学生考勤管理系统的组成                 | 299        |
| 11.1.2        | 校园一卡通学生考勤管理系统的可行性分析              | 300        |
| 11.1.3        | 校园一卡通学生考勤管理系统的需求分析               | 300        |
| 11.2          | 学生考勤管理系统的时钟功能的实现                 | 300        |
| 11.2.1        | DS1302 实时时钟电路                    | 300        |
| 11.2.2        | DS1302 实时时钟模块                    | 300        |
| 11.2.3        | DS1302 实时时钟模块的操作说明               | 301        |
| 11.2.4        | DS1302 时钟模块例程                    | 303        |
| 11.2.5        | Z-Stack 中使用 DS1302 时钟模块实现显示时间的功能 | 306        |
| 11.3          | 学生考勤管理系统读卡功能的实现                  | 307        |
| 11.3.1        | RFID 介绍                          | 307        |
| 11.3.2        | M104BPC 读写模块                     | 309        |
| 11.3.3        | 例程                               | 313        |
| 11.3.4        | Z-Stack 实现读卡功能                   | 319        |
|               | <b>参考文献</b>                      | <b>322</b> |

无线传感器网络 (Wireless Sensor Networks, WSN) 是当前在国际上备受关注的、涉及多学科高度交叉、知识高度集成的前沿热点研究领域。它综合了传感器、嵌入式计算、现代网络及无线通信和分布式信息处理等技术, 能够通过各类集成化的微型传感器协同完成对各种环境或监测对象的信息的实时监测、感知和采集, 这些信息通过无线方式被发送, 并以自组多跳的网络方式传送到用户终端, 从而实现物理世界、计算世界以及人类社会这三元世界的连通。

## 1.1 无线传感器网络概述

无线传感器网络, 是由部署在检测区域内的大量廉价微型传感器节点组成的, 通过无线通信的方式形成一个多跳的自组织的网络系统, 是当前国内外备受关注的新兴的科学技术网络, 最早的研究来源于美国军方。无线传感器网络由多学科高度交叉而成, 综合了传感器技术、嵌入式计算技术、网络通信技术、分布式信息处理技术和微电子制造技术等, 能够通过各类集成化的微型传感器节点协作对各种环境或检测对象的信息进行实时监测、感知和采集, 并对采集到的信息进行处理, 通过无线自组织网络以多跳中继方式将所感知的信息传送给终端用户。

作为一种全新的信息获取平台, 无线传感器网络能够实时监测和采集网络区域内各种监控对象的信息, 并将这些采集信息传送到网关节点, 从而实现规定区域内目标监测、跟踪和远程控制。无线传感器网络是一个由大量各种类型且廉价的传感器节点 (如电磁、气体、温度、湿度、噪声、光强度、压力、土壤成分等传感器) 组成的无线自组织网络。每个传感器节点由传感单元、信息处理单元、无线通信单元和能量供给单元等构成。一种普遍被人们接受的无线传感器网络的定义是: 无线传感器网络是一种大规模、自组织、多跳、无基础设施支持的无线网络, 网络中节点是同构的, 成本较低, 体积和耗电量较小, 大部分节点不移动, 被随意地散布在监测区域, 要求网络具有尽可能长的工作时间和使用寿命。

无线传感器网络在农业、医疗、工业、交通、军事、物流以及个人家庭等众多领域都具有广泛的应用, 其研究、开发和应用很大程度上关系到国家安全、经济发展等各个方面。因为无线传感器网络广阔的应用前景和潜在的巨大应用价值, 近年来在国内外引起了广泛的重视。另一方面, 由于国际上各个机构、组织和企业对无线传感器网络技术及相关研究

的高度重视,也大大促进了无线传感器网络的高速发展,使无线传感器网络在越来越多的应用领域开始发挥其独特的作用。

与各种现有网络相比,无线传感器网络具有以下显著特点:

(1) 节点数量多,网络密度高。

无线传感器网络通常密集部署在大范围无人的监测区域中,通过网络中大量冗余节点的协同工作来提高系统的工作质量。

(2) 分布式的拓扑结构。

无线传感器网络中没有固定的网络基础设施,所有节点地位平等,通过分布式协议协调各个节点以协作完成特定任务。节点可以随时加入或离开网络,不会影响网络的正常运行,具有很强的抗毁性。

(3) 自组织特性。

无线传感器网络所应用的物理环境及网络自身具有很多不可预测因素,因此需要网络节点具有自组织能力。即在无人干预和其他任何网络基础设施支持的情况下,可以随时随地自动组网,自动进行配置和管理,并使用适合的路由协议实现监测数据的转发。

## 1.2 无线传感器网络的发展历程

第一阶段:最早可以追溯到20世纪70年代越战时期使用的传统的传感器系统。

当年美越双方在密林覆盖的“胡志明小道”进行了一场血腥较量,这条道路是胡志明部队向南方游击队源源不断输送物资的秘密通道,美军曾经绞尽脑汁动用空中力量狂轰滥炸,但效果不大。后来,美军投放了两万多个“热带树”传感器。所谓“热带树”实际上是由振动和声响传感器组成的系统,它由飞机投放,落地后插入泥土中,只露出伪装成树枝的无线电天线,因而被称为“热带树”。只要对方车队经过,传感器探测出目标产生的振动和声响信息,自动发送到指挥中心,美机立即展开追杀,总共炸毁或炸坏4.6万辆卡车。

第二阶段:20世纪80—90年代。

主要是美军研制的分布式传感器网络系统、海军协同交战能力系统、远程战场传感器系统等。这种现代微型化的传感器具备感知能力、计算能力和通信能力。因此,在1999年,商业周刊将传感器网络列为21世纪最具影响的21项技术之一。

第三阶段:21世纪开始至今。这个阶段的传感器网络的技术特点在于网络传输自组织、节点设计低功耗。

除了应用于情报部门反恐活动以外,在其他领域更是获得了很好的应用,所以2002年美国国家重点实验室——橡树岭实验室提出了“网络就是传感器”的论断。

由于无线传感网在国际上被认为是继互联网之后的第二大网络,2003年美国《技术评论》杂志评出对人类未来生活产生深远影响的十大新兴技术,传感器网络被列为第一位。

在现代意义上的无线传感网研究及其应用方面,我国与发达国家几乎同步启动,它已经成为我国信息领域位居世界前列的少数方向之一。在2006年我国发布的《国家中长期科学与技术发展规划纲要》中,为信息技术确定了三个前沿方向,其中有两项就与传感器网络直接相关,这就是智能感知和自组网技术。当然,传感器网络的发展也符合计算设备的

演化规律。

## 1.3 无线传感器网络的研究现状和前景

无线传感器网络技术是典型的具有交叉学科性质的军民两用高科技技术,可以广泛应用于军事、国家安全、交通管理、灾害预测、医疗卫生、制造业和城市信息化建设等领域。无线传感器网络由许多功能相同或不同的无线传感器节点组成,每一个传感器节点又由数据采集模块(传感器、A/D转换器)、数据处理和控制模块(微处理器、存储器)、通信模块(无线收发器)和供电模块(电池、DC/AC能量转换器)等组成。近期,微机电系统(MEMS)技术的发展为传感器的微型化提供了可能,微处理技术的发展促进了传感器的智能化,通过MEMS技术和射频(RF)通信技术的融合促进了无线传感器及其网络的诞生。传统的传感器正逐步实现微型化、智能化、信息化、网络化,正经历着一个从传统传感器到智能传感器再到嵌入式Web传感器的内涵不断丰富的发展过程,具有非常广泛的应用前景,其发展和应用将会给人类的生产和生活各个领域带来深远影响。

2001年1月,《MIT技术评论》将无线传感器列于10种改变未来世界新兴技术之首。

2003年8月,《商业周刊》预测:无线传感器网络将会在不远的将来掀起新的产业浪潮。

2004年,《IEEE Spectrum》杂志发表一期专辑《传感器的国度》,论述无线传感器网络的发展和可能的广泛应用。

我国在未来20年预见技术的调查报告中,信息领域157项技术课题有7项与传感器网络直接相关。2006年年初发布的《国家中长期科学与技术发展规划纲要》为信息技术确定了三个前沿方向,其中两个与无线传感器的研究直接相关,即智能感知技术和自组织网络技术。可以预计,无线传感器网络的研究与应用是一种必然趋势,它的出现将会给人类社会带来极大的变革。

## 1.4 无线传感器网络的特点

目前常见的无线网络包括移动通信网、无线局域网、蓝牙网络、Ad Hoc网络等,无线传感器网络在通信方式、动态组网以及多跳通信等方面有许多相似之处,但同时也存在很大的差别。无线传感器网络具有许多鲜明的特点:

### 1. 硬件资源有限

节点由于受价格、体积和功耗的限制,其计算能力、程序空间和内存空间比普通的计算机功能要弱很多。这一点决定了在节点操作系统设计中,协议层次不能太复杂。

### 2. 电源容量有限

传感器节点体积微小,通常携带能量十分有限的电池。电池的容量一般不是很大。由于传感器节点数目庞大,成本要求低廉,分布区域广,而且部署区域环境复杂,有些区域



甚至人员不能到达,所以传感器节点通过更换电池的方式来补充能源是不现实的,如果不能给电池充电或更换电池,一旦电池能量用完,这个节点也就失去了作用(死亡)。因此在传感器网络设计过程中,任何技术和协议的使用都要以节能为前提。如何在使用过程中节省能源,最大化网络的生命周期,是传感器网络面临的首要挑战。

### 3. 通信能量有限

传感器网络的通信带宽窄而且经常变化,通信覆盖范围只有几十到几百米。传感器节点之间的通信断接频繁,经常容易导致通信失败。由于传感器网络更多地受到高山、建筑物、障碍物等地势地貌以及风雨雷电等自然环境的影响,传感器可能会长时间脱离网络,离线工作。如何在有限通信能力的条件下高质量地完成感知信息的处理与传输,是传感器网络面临的挑战之一。

### 4. 计算能力有限

传感器节点是一种微型嵌入式设备,要求它价格低功耗小,这些限制必然导致其携带的处理器能力比较弱,存储器容量比较小。为了完成各种任务,传感器节点需要完成监测数据的采集和转换、数据的管理和处理、应答汇聚节点的任务请求和节点控制等多种工作。如何利用有限的计算和存储资源完成诸多协同任务成为传感器网络设计的挑战。

### 5. 节点数量众多,分布密集

传感器网络中的节点分布密集,数量巨大,可能达到几百、几千万,甚至更多。此外,为了对一个区域执行监测任务,往往有成千上万传感器节点空投到该区域。传感器节点分布非常密集,利用节点之间高度连接性来保证系统的容错性和抗毁性。传感器网络的这一特点使得网络的维护十分困难甚至不可维护,因此传感器网络的软硬件必须具有高强度性和容错性,以满足传感器网络的功能要求。

### 6. 自组织、动态性网络

在传感器网络应用中,节点通常被放置在没有基础结构的地方。传感器节点的位置不能预先精确设定,节点之间的相互邻居关系预先也不知道,而是通过随机布撒的方式实现。这就要求传感器节点具有自组织能力,能够自动进行配置和管理,通过拓扑控制机制和网络协议自动形成转发监控数据的多跳无线网络系统。同时,由于部分传感器节点能量耗尽或环境因素造成失效,以及经常有新的节点加入,或是网络中的传感器、感知对象和观察者这三要素都可能具有移动性,这就要求传感器网络必须具有很强的动态性,以适应网络拓扑结构的动态变化。

### 7. 以数据为中心的网络

传感器网络的核心是感知数据,而不是网络硬件。观察者感兴趣的是传感器产生的数据,而不是传感器本身。观察者不会提出这样的查询:“从A节点到B节点的连接是如何实现的?”他们经常会提出如下的查询:“网络覆盖区域中哪些地区出现毒气?”在传感器网络中,传感器节点不需要地址之类的标识。因此,传感器网络是一种以数据为中心的网络。

### 8. 多跳路由

网络中节点通信距离有限,一般在几百米范围内,节点只能与它的邻居直接通信。如果希望与其射频覆盖范围之外的节点进行通信,则需要通过中间节点进行路由。固定网络