

www.zjgsupress.com
提供本书源码
与素材下载

物联网实验教程

邵奇可 董俊 毛科技 主编
毛剑飞 周雪 竺超明 颜世航 副主编



浙江工商大学出版社
ZHEJIANG GONGSHANG UNIVERSITY PRESS

物联网实验教程

邵奇可 董俊 毛科技 主 编
毛剑飞 周雪 竺超明 颜世航 副主编



浙江工商大学出版社
ZHEJIANG GONGSHANG UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

物联网实验教程 / 邵奇可, 董俊, 毛科技主编. —
杭州: 浙江工商大学出版社, 2015.5

ISBN 978-7-5178-1063-6

I. ①物… II. ①邵… ②董… ③毛… III. ①互联网—应用—高等学校—教材②智能技术—应用—高等学校—教材 IV. ①TP393.4②TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 092087 号

物联网实验教程

邵奇可 董俊 毛科技 主编

责任编辑 罗丁瑞

封面设计 王妤驰

责任校对 宋德康

责任印制 包建辉

出版发行 浙江工商大学出版社

(杭州市教工路 198 号 邮政编码 310012)

(E-mail: zjgsupress@163.com)

(网址: <http://www.zjgsupress.com>)

电话: 0571-88904980, 88831806(传真)

排 版 杭州朝曦图文设计有限公司

印 刷 浙江云广印业股份有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 13

字 数 303 千

版 印 次 2015 年 5 月第 1 版 2015 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5178-1063-6

定 价 35.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江工商大学出版社营销部邮购电话 0571-88904970

前言

2010年,三位一体的蓝牙4.0技术规范发布了,蓝牙4.0包括传统蓝牙、低功耗蓝牙和高速蓝牙技术,这三个规格可以组合或者单独使用。蓝牙4.0规范的核心是低功耗技术(Low Energy)即蓝牙4.0BLE。蓝牙4.0是3.0的升级版本,较3.0版本更省电、成本低、3毫秒低延迟、超长有效连接距离、AES-128加密等,但该技术最大特点是拥有超低的运行和待机功耗,一颗纽扣电池可以让设备连续工作数年之久,可应用于对成本和功耗都有严格要求的无线方案及手机等移动设备及物联网领域,且在能保证节点几乎永久工作时,连接节点不会有丝毫的延迟。这种永久打开且瞬间连接的能力非普通蓝牙或其他无线连接可以比拟。

由于近年来智能手机(Smart Phone)的迅速普及,大街小巷、地铁公交,多少人在低头刷屏,手机上的各种应用如雨后春笋,带动了各种手机应用开发,手机越来越成为“我的物联网(Internet of My Things)”的中枢设备。目前几乎百分之百的智能手机都标配了蓝牙3.0,而随着2010年蓝牙4.0的发布,目前iPhone 4S,iPhone5,三星 GalaxyS3、S4、Note2等一些主流智能手机都已经支持蓝牙4.0,刚刚发布不久的安卓4.3也提供了蓝牙4.0的应用程序编程接口(API)。由于蓝牙4.0是蓝牙3.0的升级版本,且兼容3.0,并提供了低功耗应用的蓝牙4.0BLE。可以预见,在不久的将来,在物联网领域,蓝牙4.0技术规范将成为一颗璀璨的新星,在医疗、生活、智能家居、尤其是“我的物联网”中发挥举足轻重的作用。

本书作为物联网技术开发入门教程,重点在于实践,建议课程课内48学时,其中讲课16学时,上机实践32学时,课内课外学时比例为1:1.5。第一部分和第二部分为讲课,建议16学时,第三部分则主要是学生上机,建议32学时,建议在做每个实验之前,先简单讲解一下上机任务和过程安排。具体内容与课时安排如下表。

课程教学内容及学时分配

1. 理论教学安排

序号	章节或知识模块	教学内容	学时分配
1	无线传感网络介绍	介绍无线传感网络体系、特点、关键技术、应用及国内外研究现状	4
2	通信标准	讲述无线传感网络主要通信标准	4
3	实验平台环境	讲解实验平台软硬件开发环境	2
4	实验开发平台介绍	讲述开发板各模块的结构及组成	2
5	实验开发平台搭建	讲解和演示IAR软件的安装以及协议栈的安装	4

2. 实践教学安排

序号	项目名称	学时	类型	每组人数
1	LED 实验、流水灯实验、蜂鸣实验	4	上机	1
2	按键控制 LED、中断方式控制	4	上机	1
3	定时器实验	4	上机	1
4	串口实验	6	上机	1
5	ADC 实验	4	上机	1
6	睡眠和唤醒实验	4	上机	1
7	看门狗实验	2	上机	1
8	Flash 实验	2	上机	1
9	总线实验	2	上机	1

本书特点：

1. 深入浅出、循序渐进、注重细节

本书在内容编排上,采用模块化、进阶式的安排,由浅入深,由易到难,从构建系统软硬件平台开始,结合 CC2540 芯片原理,从最简单的点亮一盏小小的 LED 灯,到定时器实验、串口实验、ADC 实验,再到复杂的总线实验,由浅及深,让初学者从零基础开始,慢慢深入了解和学习蓝牙芯片开发。本书详尽地描述了开发和设计的整个过程,注重细节,务求浅显易懂,力求真实、效果再现。只要认真学习本书,我们相信,每个读者最后都能自己做出自己的作品。

2. 以“我”为中心

与其他教程不同的是,本书以“我”为中心,把“我”的整个蓝牙学习和开发过程的感想体会和对读者的希望都真实记录下来,这个过程当然会有些弯路,但这些弯路或者一笔带过,或者忽略,本书力求呈现给读者一条“宽阔且笔直的”蓝牙学习之路。虽然是以“我”为中心,通过“我”的学习和实践来详细地展现整个蓝牙 4.0BLE 学习和开发的过程,但其实也希望让读者以自己为中心,积极地参与项目实践,一步步构建自己的蓝牙项目。

3. 任务驱动

本书以任务驱动方式讲解,每次实验都提出具体任务,便于教师安排学生实验,也便于读者自行实验之后再对比。每个实验都配以相关图文解释,以激发读者学习热情,务求达到快速理解的效果,所有效果图片都是程序正确运行时现场拍摄的,以务求代码的准确无误,不致误导读者。实验由简单到复杂,循序渐进,遵从学习的规律。

4. 学习成本低

一般物联网实验工具箱动辄几千或几万元,让广大有志学习物联网技术的同学和工程师望而却步。而本书的所有实验,仅仅建立在两块 CC2540 开发板上,外加 CCDBG 仿真器和串口即可轻松调试。且只要稍加修改配置,实验可在任何 CC2540 开发板上轻松实现,目前各款 CC2540 开发板的淘宝价格大致二、三百元不等。随着蓝牙 4.0 开发应用

的迅速增长,成本还将进一步下降,由于 CC2540 开发板设计都有非常成熟的现成方案,不考虑时间成本的话,甚至读者自己都可以设计,这更能锻炼初学者的硬件动手能力,这样成本还更低。低门槛的学习和开发成本,将更有利于广大学生和工程师学习和开发蓝牙 4.0BLE。学习本书,大家完全可以开发出自己特色的蓝牙设备,再配上你的手机,让你的手机通过蓝牙来感知世界,认真地体会“我”的物联网。

浙江工业大学的邵奇可主要编写了第 1—5 章,浙江广播电视大学萧山学院董俊主要编写了第 6—7 章,浙江工业大学毛科技主要编写了第 8—9 章,浙江工业大学毛剑飞主要编写了第 10—12 章,浙江广播电视大学萧山学院周雪和竺超明编写了第 13—14 章,浙江工业大学颜世航参与了第 2—3 章的编写。全文由邵奇可、毛科技和毛剑飞统稿。由邵奇可、董俊、毛科技任主编;毛剑飞、周雪、竺超明、颜世航任副主编。

限于编者水平,出错之处在所难免,恳请各位读者给予批评指正,联系方式:sqk@zjut.edu.cn。

本书受浙江工业大学重点教材建设项目资助,在此表示感谢。

本书由浙江工商大学出版社出版,在此表示感谢。

目 录

第 1 篇 物联网与传感网

第 1 章 物联网中的无线传感器网络	3
1.1 WSN 的特点	3
1.2 WSN 的体系结构	5
1.2.1 WSN 体系结构	5
1.2.2 WSN 协议	6
1.2.3 WSN 拓扑结构	8
1.3 WSN 的关键技术	11
1.4 WSN 的应用	14
1.5 WSN 的国内外研究现状	16
1.5.1 国外状况	16
1.5.2 国内状况	16
第 2 章 WSN 的通信标准	18
2.1 IEEE 802.15.4 标准	18
2.1.1 物理层规范(PHY)	20
2.1.2 介质访问层规范(MAC)	23
2.1.3 关键术语介绍	28
2.2 ZigBee 协议	29
2.2.1 ZigBee 的协议栈	31
2.2.2 ZigBee 的网络拓扑	36
2.2.3 ZigBee 的应用	38

第 2 篇 物联网基础实验平台

第 3 章 环境安装	45
3.1 开发套件介绍	45
3.2 硬件环境	47
3.2.1 蓝牙芯片 CC2540	47
3.2.2 CC2540EM 核心板	48
3.2.3 USB Dongle	49

3.2.4	SmartRF04EB	49
3.3	软件环境	50
3.3.1	IAR	50
3.3.2	蓝牙 4.0 BLE 协议栈	50
3.3.3	BTool	51
3.3.4	Flash Programmer	51
第 4 章	实验平台组成	52
4.1	WB2540MVA 模块	52
4.1.1	模块简介	52
4.1.2	模块特点	52
4.1.3	模块资源	53
4.1.4	接口说明	53
4.2	WX2530 底板模块	54
4.2.1	产品特点	54
4.2.2	各功能单元使用说明	55
4.2.3	电源及电源选择	55
4.2.4	模块输入接口	55
4.2.5	仿真器接口	56
4.2.6	LED 指示灯	57
4.2.7	功能按键	57
4.2.8	传感器接口	57
第 5 章	CC2540 BLE 基础型开发套件	60
5.1	BLE 技术及 CC2540 芯片简介	60
5.1.1	BLE 技术	60
5.1.2	BLE 协议栈解析	63
5.2	BLE 开发环境的搭建	64
5.2.1	硬件准备	64
5.2.2	BLE 协议栈开发平台配置	65
5.2.3	BLE 协议栈的安装	65
5.2.4	IAR 安装	69
5.2.5	安装烧写软件	74
5.3	BLE 快速体验	76

第 3 篇 物联网基础实验

第 6 章	GPIO 输出实验	81
6.1	让 LED 照亮世界	81

6.1.1	任务要求及效果呈现	81
6.1.2	实验原理	82
6.1.3	程序清单	86
6.2	让 LED 一闪一闪	87
6.2.1	任务要求及效果呈现	87
6.2.2	实验原理	87
6.2.3	程序清单	87
6.3	实现流水灯	88
6.3.1	任务要求及效果呈现	88
6.3.2	实验原理	89
6.3.3	程序清单	89
6.4	让蜂鸣器发声	90
6.4.1	任务要求及效果呈现	90
6.4.2	实验原理	91
6.4.3	程序清单	93
第 7 章	GPIO 输入实验	94
7.1	按键控制 LED 的亮灭	94
7.1.1	任务要求及效果呈现	94
7.1.2	实验原理	95
7.1.3	程序清单	98
7.2	中断方式下按键控制 LED 的亮灭	100
7.2.1	任务要求及效果呈现	100
7.2.2	实验原理	101
7.2.3	程序清单	103
第 8 章	定时器实验	106
8.1	软件查询方式下的定时流水灯	106
8.1.1	任务要求及效果呈现	106
8.1.2	实验原理	106
8.1.3	程序清单	110
8.2	中断方式下的定时流水灯	112
8.2.1	任务要求及效果呈现	112
8.2.2	实验原理	113
8.2.3	程序清单	114
8.3	PWM 波控制蜂鸣器	116
8.3.1	任务要求及效果呈现	116
8.3.2	实验原理	116
8.3.3	程序清单	120

第 9 章 串口实验	125
9.1 打印欢迎信息	125
9.1.1 任务要求及效果呈现	125
9.1.2 实验原理	126
9.1.3 程序清单	131
9.2 用 printf 打印系统信息	132
9.2.1 任务要求及效果呈现	132
9.2.2 实验原理	133
9.2.3 程序清单	134
9.3 用 scanf、gets、printf 进行串口收发	136
9.3.1 任务要求及效果呈现	137
9.3.2 实验原理	137
9.3.3 程序清单	138
9.4 用串口接收中断方式进行串口收发	141
9.4.1 任务要求及效果呈现	141
9.4.2 实验原理	141
9.4.3 程序清单	143
9.5 用串口收发中断和缓冲区进行串口收发	145
9.5.1 任务要求及效果呈现	145
9.5.2 实验原理	146
9.5.3 程序清单	146
第 10 章 ADC 实验	149
10.1 获取芯片内部的温度和芯片供电电压	149
10.1.1 任务要求及效果呈现	149
10.1.2 实验原理	149
10.1.3 程序清单	154
10.2 测量光照强度	159
10.2.1 任务要求及效果呈现	159
10.2.2 实验原理	160
10.2.3 程序清单	161
第 11 章 睡眠与唤醒实验	162
11.1 按键催眠，按键唤醒	162
11.1.1 任务要求和效果呈现	162
11.1.2 实验原理	163
11.1.3 程序清单	165
11.2 定时器唤醒	171
11.2.1 任务要求和效果呈现	171

11.2.2 实验原理 172

11.2.3 程序清单 173

第 12 章 看门狗实验 178

 12.1 任务要求和效果呈现 178

 12.2 实验原理 180

 12.3 程序清单 180

第 13 章 FLASH 读写实验 183

 13.1 任务要求和效果呈现 183

 13.2 实验原理 183

 13.3 程序清单 185

第 14 章 单总线实验 187

 14.1 任务要求和效果呈现 188

 14.2 实验原理 188

 14.3 程序清单 192

01

CHAPTER ONE

第 1 篇

物联网与传感网

本篇内容

第 1 章 物联网中的无线传感器网络

第 2 章 WSN 的通信标准

第1章 物联网中的无线传感器网络

1.1 WSN 的特点

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN), 又称无线传感网。WSN 是由部署在监测区域内大量的微型传感器节点组成, 通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织的网络系统, 其目的是协作地感知、采集和处理网络覆盖区域中被感知对象的信息, 并发送给观察者。WSN 技术贯穿物联网的3个层面, 结合了计算、通信、传感器3项技术, 具有范围较大、低成本、高密度、灵活布设、实时采集、全天候工作的优势, 且对物联网产业具有显著带动作用。

WSN 主要有以下特点。

(1) 大规模

为了获取精确信息, 在监测区域通常部署大量传感器节点, 可能达到成千上万, 甚至更多。无线传感网的大规模性包括两方面的含义: 一方面是传感器节点分布在很大的地理区域内, 如在原始大森林进行森林防火和环境监测, 需要部署大量的传感器节点; 另一方面, 传感器节点部署很密集, 在面积较小的空间内, 密集部署了大量的传感器节点。无线传感网的大规模性具有如下优点: 通过不同空间视角获得的信息具有更大的信噪比; 通过分布式处理大量的采集信息能够提高监测的精确度, 降低对单个节点传感器的精度要求; 大量冗余节点的存在, 使得系统具有很强的容错性能; 大量节点能够增大覆盖的监测区域, 减少洞穴或者盲区。

(2) 自组织

自组网的最大优势是能够自动实现网络互联。在传感器网络的应用中, 通常情况下传感器节点被放置在没有基础设施的地方, 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未知, 如通过飞机播撒大量传感器节点到面积广阔的原始森林中, 或随意放置到人不可到达的或危险的区域。这就要求传感器节点具有自组织的能力, 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测数据的多跳无线网络。在传感网络使用过程中, 部分传感器节点由于能量耗尽或环境因素造成失效, 另外一些节点为了弥补失效节点、增加监测精度而补充到网络中, 因此在传感器网络中的节点个数就动态地增加或减少, 从而使网络的拓扑结构随之动态地变化。传感器网络的自组织性要能够适应这种网络拓扑结构的动态变化。

(3) 动态性

传感器网络的拓扑结构可能因为下列因素而改变: 1) 环境因素或能量耗尽造成的传感器节点故障或失效; 2) 环境条件变化可能造成无线通信链路带宽变化, 甚至时断时通;

3) 传感器网络的传感器、感知对象和观察者这三要素都可能具有移动性;4) 新节点的加入。因此要求传感器网络要能够适应拓扑结构的变化,具有动态的系统可重构性。

(4) 可靠性

WSN 特别适合部署在恶劣环境或人类不宜到达的区域,节点可能工作在露天环境中,遭受日晒、风吹、雨淋,甚至遭到人或动物的破坏。传感器节点往往采用随机部署的方式,如通过飞机撒播或发射炮弹到指定区域进行部署。这些都要求传感器节点非常坚固,不易损坏,适应各种恶劣环境条件。由于监测区域环境的限制以及传感器节点数目巨大,不可能人工“照顾”每个传感器节点,因此网络的维护十分困难甚至不可维护。传感器网络的通信保密性和安全性也十分重要,要防止监测数据被盗取和获取伪造的监测信息。因此,传感器网络的软硬件必须具有鲁棒性和容错性。

(5) 以数据为中心

互联网是先有计算机终端系统,然后再互联成为网络,终端系统可以脱离网络独立存在。在互联网中,网络设备用网络中唯一的 IP 地址标识,资源定位和信息传输依赖于终端、路由器、服务器等网络设备的 IP 地址。如果想访问互联网中的资源,首先要知道存放资源的服务器 IP 地址。可以说现有的互联网是一个以地址为中心的网络。传感器网络是任务型的网络,脱离传感器网络谈论传感器节点没有任何意义。传感器网络中的节点采用节点编号标识,节点编号是否需要全网唯一取决于网络通信协议的设计。由于传感器节点随机部署,其构成的传感器网络与节点编号之间的关系是完全动态的,表现为节点编号与节点位置没有必然联系。用户使用传感器网络查询事件时,直接将所关心的事件通告给网络,而不是通告给某个确定编号的节点。网络在获得指定事件的信息后汇报给用户。这种以数据本身作为查询或传输线索的思想更接近于自然语言交流的习惯。所以通常说传感器网络是一个以数据为中心的网络。例如,在应用于目标跟踪的传感器网络中,跟踪目标可能出现在任何地方,对目标感兴趣的节点只关心目标出现的位置和时间,并不关心哪个节点监测到目标。事实上,在目标移动的过程中,必然是由不同的节点提供目标的位置消息。

(6) 集成化

传感器节点的功耗低,体积小,价格便宜,实现了集成化。其中,微机电系统技术的快速发展为无线传感器网络节点实现上述功能提供了相应的技术条件,在未来,类似“灰尘”的传感器节点也将会被研发出来。

(7) 密集节点部署

在安置传感器节点的监测区域内,部署有数量庞大的传感器节点。通过这种部署方式可以对空间抽样信息或者多维信息进行捕获,通过相应的分布式处理,即可实现高精度的目标检测和识别。另外,也可以降低单个传感器的精度要求。密集部署节点之后,将会存在许多冗余节点,这一特性能够提高系统的容错性能,对单个传感器的要求大大降低。最后,适当将其中的某些节点进行休眠调整,还可以延长网络的使用寿命。

(8) 协作方式执行任务

协作方式通常包括协作式采集、处理、存储以及传输信息。通过协作的方式,传感器节点可以共同实现对对象的感知,从而得到完整的信息。这种方式可以有效克服和处理

存储能力不足的缺点,共同完成复杂任务的执行。在协作方式下,传感器之间的节点实现远距离通信,可以通过多跳中继转发,也可以通过多节点协作发射的方式进行。

(9)应用相关的网络

无线传感器网络用来感知客观物理世界,获取物理世界的信息量。客观世界的物理量多种多样,不可穷尽。不同的传感器网络应用关心不同的物理量,因此对传感器的应用系统也有多种多样的要求。不同的应用背景对传感器网络的要求不同,其硬件平台、软件系统和网络协议必然会有很大差别。所以传感器网络不能像 Internet 一样,有统一的通信协议平台。不同的传感器网络应用虽然存在一些共性问题,但在开发传感器网络应用中,更关心传感器网络的差异。针对每一个具体应用来研究传感器网络技术,让系统更贴近应用,才能做出最高效的目标系统。

此外,无线传感网络还具有低速率、低功耗、近距离、低成本等特点。传感网的速率通常小于 500 kbps。传感网功耗低,能够用电池供电,并且至少可使用 5 个月。因为通信的距离很大程度上取决于发射功率,因此其功耗低,距离也不远,满足某些领域、场合的需要。WSN 是靠大量的冗余节点实现数据的采集、处理和传输,量大必须便宜。

上述的特点,满足了 WSN 在环境检测、太空探测、智能家居、医疗、军事等领域的应用,存在着巨大的潜力和商机。但是因为电磁波易受干扰性,通信链路存在着一定的不确定性和不可靠性,因此对实时要求很高的工业领域,目前应用还存在一些问题。

1.2 WSN 的体系结构

1.2.1 WSN 体系结构

WSN 体系结构是无线传感器网络的研究热点之一。无线传感器网络是一种大规模自组织网络,在研究无线传感器网络体系结构时,需要考虑以下几个特点:(1)无线传感器网络的节点主要由电池供电,所以节点的能耗是网络系统设计中最重要因素之一;(2)相比于一般的 Ad Hoc 网络,无线传感器网络具有较多的节点,从网络的可扩展性来说要复杂得多;(3)由于无线传感器网络应用环境的特殊性,其无线通信的信道很不稳定,而且由于能量有限,传感器节点受损概率远大于一般的自组织网络,因此必须保证无线传感器网络的健壮性;(4)无线传感器网络的拓扑结构具有动态变化的特性。这些特点使得无线传感器网络有别于传统的自组织网络,在体系结构设计中需要重点考虑。

一个典型的 WSN 体系结构包括:分布式传感器节点、接收和发送器、互联网以及用户操作界面。无线传感器网络中的节点通过飞机播撒或人工部署等方式,密集部署在感知对象的内部或附近。这些节点通过自组织方式构建无线网络,以协作方式感知、采集和处理网络覆盖区中特定信息,实现对任意地点信息在任意时间的采集、处理和分析。典型的 WSN 体系结构如图 1.1 所示。

传感器节点散布在指定的感知区域内,每个节点都可以收集数据,并通过多跳路由方式把数据传送到汇聚节点(Sink 节点)。Sink 节点也可以用同样的方式将信息发送给各节点。Sink 节点直接与 Internet 或通信卫星相连,通过 Internet 或通信卫星实现用户与

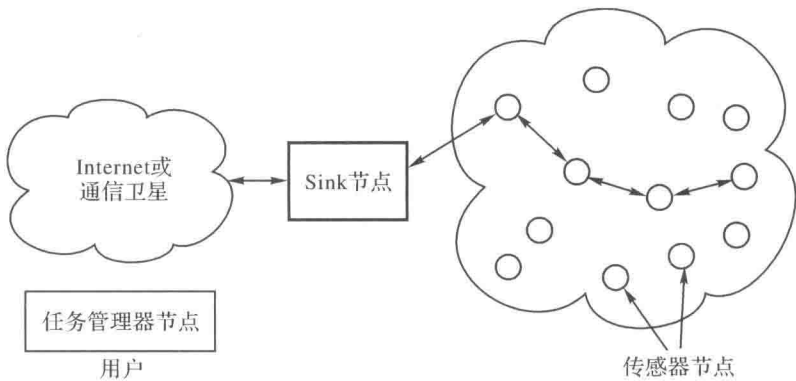


图 1.1 典型的 WSN 体系结构

传感器之间的通信。

传感器节点通常是一个微型的嵌入式系统,通过携带能量有限的电池供电,因此,处理器能力、存储能力和通信能力相对较弱。从网络功能上看,每个传感器节点具有采集、接收、处理和发送数据的功能,部分节点还兼顾路由的功能,除了进行本地信息收集和数据处理外,还要对其他节点转发来的数据进行存储、管理等处理,同时与其他节点协作完成一些特定任务。传感器节点一般由处理器模块(包括 CPU、存储器、嵌入式操作系统等)、无线通信模块、传感器、AD(转换模块)和能源供应模块组成,如图 1.2 所示。

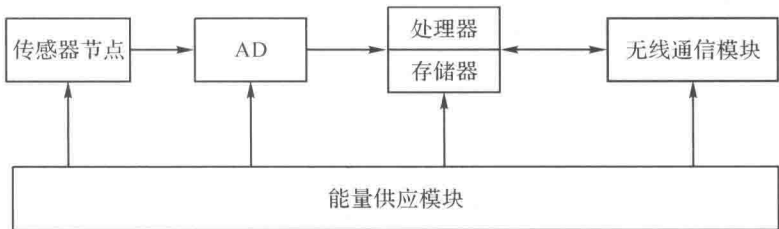


图 1.2 WSN 节点体系结构

传感器从外界采集感知对象的信息,通过 AD 转换后交给处理器模块进行处理,处理器模块除了存储、处理采集来的数据外,还负责控制整个传感器节点的操作,并通过无线通信模块实现节点之间的通信。能量供应模块给各个模块提供电源,一般都是用电池来提供电源。此外,可选择的其他功能单元包括:定位系统、移动系统以及电源自供电系统等。

1.2.2 WSN 协议

WSN 协议是网络的协议分层以及网络协议的集合,是对网络及其部件所应完成功能的定义和描述。对无线传感器网络来说,其网络协议不同于传统的计算机网络和通信网络。如图 1.3 所示是一个无线传感网络的协议模型。该模型既参考了现有的计算机网络的 TCP/IP 和 OSI 模型的架构,同时又包含了传感器网络特有的能量管理、移动管理及任务管理。WSN 多采用 5 层协议标准:应用层、传输层、网络层、数据链路层、物理层,与互联网协议栈的 5 层协议相对应。另外,协议栈还包括能量管理平台、移动管理平台和任务管理平台。管理层的存在主要是用于协调不同层次的功能以求在能量管理、移动管理