



“十三五”国家重点图书出版规划项目

电子与信息工程系列

ZigBee Wireless Sensor Network and
its Applications in Internet of Things

ZigBee 无线传感器网络 及其在物联网中的应用

● 姚仲敏 苗凤娟 姚志强 董晶 蒋吉娟 张鹏 编著



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



“十三五”国家重点图书出版规划项目

电子与信息工程系列

ZigBee Wireless Sensor Network and
its Applications in Internet of Things

ZigBee 无线传感器网络
及其在物联网中的应用

● 姚仲敏 苗凤娟 姚志强 董晶 蒋吉娟 张鹏 编著

常州大学图书馆
藏书章



哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内容简介

ZigBee 无线传感器网络作为一种信息感知和数据采集的新型网络系统,以其低功耗、低成本、分布式、自组网和适应恶劣环境等特点成为物联网感知世界的重要组成部分。

本书重点介绍 ZigBee 无线传感器网络的网络结构、IEEE 802.15.4 协议、ZigBee 协议标准等基础理论知识;并以目前极有发展前途的 NXP 公司 5139 和 5168 片上系统为主要内容,分别介绍以其为基础的 ZigBee 芯片、硬件模块、网络节点和软件平台等方面的知识,通过示例程序和网关实现应用示例,讲解 ZigBee 无线传感器网络应用系统设计的过程和方法。

本书采用通俗易懂、言简意赅的语言,说明 ZigBee 无线传感器网络及其在物联网中应用所依据的基本原理与实用技术,为广大读者提供一本理论联系实际、能够学以致用用的 ZigBee 无线传感器网络基础教材。

本书可作为高等院校电子、通信、物联网、自动控制等专业本科生和硕士研究生 ZigBee 无线传感器网络课程的教材,也可供从事无线传感器网络开发与应用的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

ZigBee 无线传感器网络及其在物联网中的应用/姚仲敏等编著. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2018.4
ISBN 978-7-5603-6842-9

I. ①Z… II. ①姚… III. ①无线电通信-传感器-应用-互联网络②无线电通信-传感器-应用-智能技术 IV. ①TP212②TP393.4③TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 182966 号

电子与通信工程

策划编辑 许雅莹 杨 桦 张秀华

责任编辑 刘 瑶 李长波

封面设计 刘洪涛

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 25.25 字数 624 千字

版 次 2018 年 4 月第 1 版 2018 年 4 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-6842-9

定 价 48.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前言

PREFACE

无线传感器网络是由布置在监测区内大量的廉价微型传感器网络节点组成,通过无线通信方式形成的一个多跳自组网络,是一种全新的信息获取平台,是物联网的重要组成部分。

把无线传感器网络与既有网络结合而形成的物联网,是无线传感器网络和既有技术的综合运用,是互联网的延伸,是电信网资源功能的扩展。它会给社会带来巨大的变化,会使人们的生活更加舒适,使社会资源的运用更加合理、更加经济,对生产方式产生深刻影响,确保生产质量和商品流通有序高效,使资源配置更加合理,大大提高消费安全指数。

ZigBee 无线传感器网络作为一种信息感知和数据采集的新型网络系统,以其低功耗、低成本、分布式、自组网和适应恶劣环境等特点为物联网感知世界带来无限生机,因此是物联网感知世界的首选,是物联网的重要组成部分,是物联网的“神经末梢”。

物联网通过 ZigBee 无线传感器网络来实现对物理世界的感知,从无线传感器网络中得到详尽、准确的环境数据或目标信息,通过对异构网络的融合、海量信息处理、数据检索与提取等手段实现人与物、物与物之间的通信和信息交互,并提供各种物联网的应用和服务。

物联网的发展,离不开大量掌握物联网技术的专门人才,因此,国内很多高校都设置了物联网专业,提供适用的教材是当务之急。

本书结合作者在长期教学和科研实践中获得的成果与经验,避开深奥枯燥而又和实用联系不多的理论,从实用出发,使学生通过这门课的学习来获取一些实用的无线传感器网络和物联网组建及维护技能,并提供一些实用的实践项目,激励学生的学习热情。采用通俗易懂、言简意赅的语言来说明 ZigBee 无线传感器网络和物联网的基本原理与实用技术,为广大读者提供一本理论联系实际、能够学以致用用的 ZigBee 无线传感器网络基础教材。

本书分为 3 大部分:第一部分为基础知识;第二部分为 NXP 片上系统 SoC (5139 和 5168);第三部分为 ZigBee 无线传感器网络在物联网的实际应用。第一部分包括 3 章(第 1~3 章):第 1 章介绍短距离无线通信网络,重点介绍无线传感器网络;第 2 章介绍协议标准,重点介绍 IEEE 802.15.4 协议和 ZigBee 协议标准;第 3 章介绍 IEEE 802.15.4 的应用开发。第二部分包括 7 章(第 4~10 章):第 4 章介绍 NXP 片上系统 JN5139;第 5 章介绍 NXP JN5139 软件平台;第 6 章介绍 JN5139 应用程序开发及开发环境和示例程序;第 7 章介绍 NXP 最新推出的功能强大、价格低廉的 JN5168 片上系统,广州致远和北京博讯为推广该产品都做了不少工作,小米科技有限公司更选用了一万片 JN5168 嵌入其产品之中,是一种极有发展前途的 SoC;第 8 章介绍 JN5168 开发环境与片上外设;第 9 章介绍 JN5168 软件开发的环境;第 10 章介绍 JN5168 软件开发与示例程序。第 3 部分包括 4 章(第 11~14 章):第

11 章介绍无线传感器网络与物联网的特点;第 12 章介绍基于 Internet 构建物联网;第 13 章介绍基于无线通信网构建物联网;第 14 章介绍基于 WiFi 网络构建物联网。本例程序资源见哈尔滨工业大学出版社网站的“数据下载”下的“随书光盘(http://hitpress.hit.edu.cn/_s191/9136/list.psp)”。

本书由齐齐哈尔大学姚仲敏、苗凤娟、董晶、蒋吉娟、张鹏以及和仁(天津)科技有限公司姚志强撰写。其中第 6、7、8 章由姚仲敏撰写,第 1、3 章由苗凤娟撰写,第 5、9、10 章由姚志强撰写,第 2、11、14 章由董晶撰写,第 4、12 章由蒋吉娟撰写,第 13 章由张鹏撰写。本书的示例程序由姚志强和齐齐哈尔大学研究生赵昕验证。全书由姚仲敏教授负责统稿。

本书在撰写过程中参考了其他同类书籍、无线传感网络最新产品和成果资料,特别是将作者的教学和不同时期科研成果融入其中。本书为齐齐哈尔大学重点资助教材。

本书在编写过程中,得到铁道部电气化局教授级高工姚繁的指导与帮助,得到广州周立功单片机科技有限公司黄锦强和北京立功致远科技公司赵国生,以及北京博讯科技公司王少克的大力支持与帮助,在此一并感谢。

无线传感器网络和物联网是当今网络技术研究的热点,发展非常迅速,限于作者的水平,书中难免有疏漏和不足之处,敬请广大读者批评指正。

作者
2017 年 5 月

目 录

CONTENTS

第一篇 基础知识

第 1 章 无线传感器网络	3
1.1 短距离无线通信网络	3
1.2 无线传感器网络	6
第 2 章 协议标准	14
2.1 协议	14
2.2 IEEE 802.15.4 协议标准	18
2.3 ZigBee 协议标准	29
2.4 ZigBee 协议术语	39
2.5 ZigBee 网络与网络拓扑结构	46
2.6 两种常用的协议栈	50
第 3 章 基于 IEEE 802.15.4 的应用开发	52
3.1 使用 IEEE 802.15.4 协议栈	52
3.2 IEEE 802.15.4 示例程序编译与下载	52

第二篇 ZigBee 系统开发

第 4 章 JN5139-ZigBee 硬件平台	63
4.1 JN5139 SoC 芯片	63
4.2 JN5139 模块	75
4.3 基于 JN5139 的 ZigBee 网络节点	89
第 5 章 JN5139 软件平台	99
5.1 协议栈概述	99
5.2 ZigBee 协议栈	99
5.3 基本操作系统(BOS)及其 APIs	107

5.4	应用程序开发 APIs 函数和协议栈 APIs 函数	111
5.5	应用程序框架(AF) APIs	116
5.6	ZigBee 设备配置文件(ZDP) APIs	127
5.7	外围部件的操作 APIs	137
第 6 章	开发 ZigBee 应用程序	143
6.1	应用程序软件开发环境	143
6.2	Jennic ZigBee 应用程序软件的结构	161
6.3	应用示例程序一	165
6.4	应用示例程序二	189
第 7 章	JN5168-ZigBee 硬件平台	202
7.1	概述	202
7.2	JN5168 模块	204
7.3	JN5168 模块片上外设	217
7.4	JN5168 的最小化应用系统	239
7.5	电源管理和睡眠模式	240
第 8 章	JN5168 的网络节点与开发板	243
8.1	概述	243
8.2	JN516x USB Dongle 网络节点	244
8.3	工业实用的网络节点的设计方法	251
8.4	几种选做学习实践用的网络节点	259
第 9 章	JN5168 软件开发环境介绍	268
9.1	程序开发环境与开发工具	268
9.2	JN-SW-4041-SDK-Toolchain 的安装	268
9.3	安装新版本 Flash Programmer_v1.8.9	271
9.4	JN516x SDK 库的安装	272
9.5	配置 Eclipse 开发环境	274
9.6	创建工程和编译工程	277
9.7	编译 Jennic 项目	280
9.8	下载 .bin 文件	281
第 10 章	JN5168 的软件开发与示例程序	286
10.1	软件开发 JenNet-IP	286
10.2	JenNet-IP 系统 WPAN 的应用开发	292
10.3	路灯控制示例	304
10.4	路灯控制示例程序	305

第三篇 无线传感器网络在物联网中的应用

第 11 章 无线传感器网络与物联网	317
11.1 物联网的概念	317
11.2 无线传感器网络与物联网	317
11.3 物联网与互联网	318
11.4 物联网的体系结构	318
11.5 物联网环境下的无线传感器网络接入技术	323
第 12 章 基于 Internet 构建物联网	326
12.1 AX110xx 串口接入以太网网关构建方案	326
12.2 AX11015 模块	329
12.3 AX11015 构建 ZigBee 接入以太网网关的硬件设计	332
12.4 ZigBee 接入 AX11015 以太网网关的软件配置	334
第 13 章 基于无线通信网构建物联网	356
13.1 用 GPRS DTU 构造物联网——面向 GPRS 的网关	356
13.2 GPRS DTU 的硬件设计实现	357
13.3 GPRS DTU 的软件实现	359
13.4 GPRS DTU 实例	365
第 14 章 基于 Wi-Fi 网络构建物联网	370
14.1 通过 Wi-Fi 接入互联网——面向 Wi-Fi 的网关	370
14.2 串口接入 Wi-Fi 集成网关应用示例	380
缩写词与术语	388
参考文献	392

第1章

无线传感器网络

第一篇

基础知识

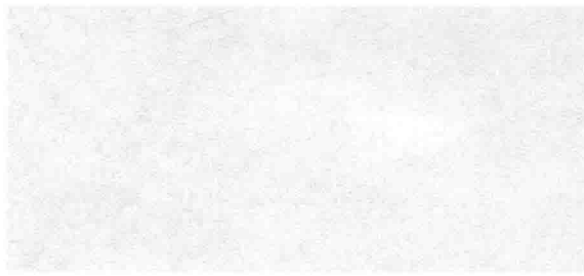


图 1-1 传感器网络示意图

图 1-1 展示了传感器网络的示意图。图中显示了一个由许多节点组成的网络，这些节点通过无线通信方式相互连接。节点分布在二维平面上，形成一种不规则的分布模式。图中还显示了节点之间的连接线路，这些线路代表了网络中的通信链路。整体来看，该图旨在说明传感器网络的拓扑结构和通信原理。

策一第

基出味品



第 1 章

无线传感器网络

1.1 短距离无线通信网络

近年来,短距离无线通信网络技术不断发展,应用步伐不断加快,正在日益走向成熟。

短距离无线通信网络主要分为 2 类,即无线局域网和无线个域网。

无线局域网(Wireless Local Area Networks, WLAN)是有线局域网(Wired Local Area Networks, LANS)的扩展与延伸。

无线个域网(Wireless Personal Area Network, WPAN)是为了在个人操作空间(Personal Operating Space, POS),也就是在 POS 范围内提供一种高效、节能的无线通信方法,POS 一般是指用户附近 10 m 左右的球形区域。

WPAN 为近距离范围内的设备建立无线连接,把几米范围内的多个设备通过无线方式连接在一起,使它们可以互相通信甚至接入 LAN(有线局域网)或 Internet(因特网)。

为了解决短距离无线通信网络问题,电气和电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronic Engineering, IEEE)成立了工作组,负责短距离无线网络的标准制定工作,分别制定了与短距离无线网络相关的通信协议。常见的有以下 4 种:

①高速 WiMedia。属于 WPAN 范畴,通信协议为 IEEE 802.15.3。

②高速 Wi-Fi。属于 WLAN 范畴,通信协议为 IEEE 802.11。

③中速蓝牙。属于 WPAN 范畴,通信协议为 IEEE 802.15.1。

④低速 ZigBee。属于 WPAN 范畴,通信协议基于 IEEE 802.15.4。

这些网络在传输速率、传输距离和适用领域等方面都存在一定的差异,如图 1.1 所示。它们所对应的通信协议和典型应用领域见表 1.1。

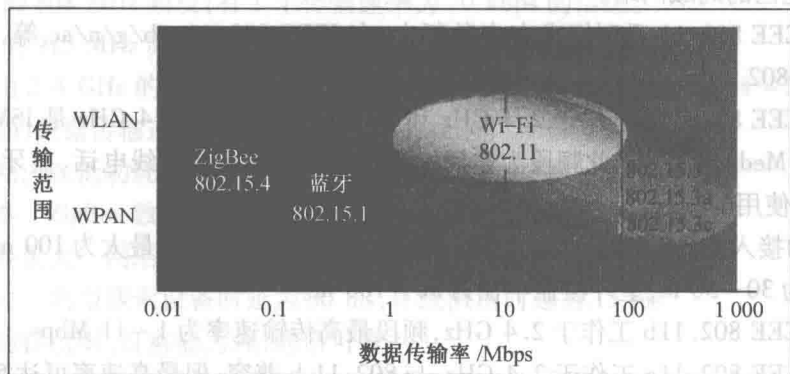


图 1.1 常见无线数据传输协议对比



表 1.1 短距离无线通信网络比较

名称	通信协议	数据速率	传输距离	典型应用领域
WiMedia	IEEE 802.15.3	10 ~ 1 000 Mbps	0 ~ 10 m	多媒体应用
Wi-Fi	IEEE 802.11	1 ~ 300 Mbps 高速	3 ~ 100 m	无线网络接入
蓝牙	IEEE 802.15.1	1 ~ 3 Mbps 中等速率	2 ~ 10 m	无线手持设备,无线鼠标
ZigBee	IEEE 802.15.4	20 ~ 250 kbps	10 ~ 100 m	无线传感器网络

1. WiMedia

WiMedia 是基于 IEEE 802.15.3 系列标准的无线网络通信技术,属高速宽频范畴,主要针对无线个域网在多媒体方面的应用,追求更高的传输速率与服务品质,用于电视机和数码相机等需要高数据传输速率的场合。其最初版本规定的数据速率为 55 Mbps,使用基于 IEEE 802.11 标准,但物理层出现不兼容现象,所以版本升级到 IEEE 802.15.3a,即使用超宽带的物理层,数据传输速率可高达 480 Mbps。

2. Wi-Fi

Wi-Fi 英文全称为 Wireless Fidelity,是“无线保真”的缩写,实际上是一个基于 IEEE 802.11 系列标准的无线网络通信技术的品牌,目的是改善基于 IEEE 802.11 标准的无线网络产品之间的互通性,由 Wi-Fi 联盟(Wi-Fi Alliance)持有,实质上是一种商业认证。目前国内习惯用 Wi-Fi 来指代 IEEE 802.11 协议的产品,Wi-Fi 就变成 WLAN 的同义词,是指利用无线通信技术在一定的局部范围内建立的网络,属于计算机网络与无线通信相结合的产物。WLAN 以无线多址信道为传输媒介,提供传统有线局域网(Local Area Network, LAN)的功能,可随时随地移动接入互联网。WLAN 的标准是 IEEE 802.11,与有线 LAN 相比,WLAN 使网络使用更加自由和便捷,使用户彻底摆脱了线缆和端口位置的束缚,接入网络变得轻松,不再为四处寻找有线端口和网线苦恼,同时 WLAN 具有便于携带、易于移动的优点,无论是在办公大楼、机场候机厅还是酒店,用户都可以随时随地自由接入网络进行办公和娱乐。

WLAN 的另一特点是建设施工周期短,维护成本低。其最大优势是不用像有线局域网那样的布线施工,一般只需要安放一个或多个接入点(Access Point, AP),设备就可建立覆盖整个建筑或地区的局域网络。

Wi-Fi IEEE 802.11 系列标准有多种版本,有 IEEE 802.11a/b/g/n/ac 等,目前使用较多的是 IEEE 802.11n。

Wi-Fi IEEE 802.11n 工作于 2.4 GHz 和 5 GHz 频率,其中 2.4 GHz 是 ISM(Industrial, Scientific and Medical)频段,此频段为非授权频段,是许多设备(无线电话、蓝牙设备、ZigBee 设备等)都可使用的频段。

Wi-Fi 的接入点 AP 发射功率,室外型最大为 500 mW,室内型最大为 100 mW,单 AP 室内覆盖半径为 30 ~ 50 m,室外覆盖半径为 50 ~ 100 m。

Wi-Fi IEEE 802.11b 工作于 2.4 GHz,频段最高传输速率为 1 ~ 11 Mbps。

Wi-Fi IEEE 802.11g 工作于 2.4 GHz,与 802.11 b 兼容,但最高速率可达 54 Mbps。

Wi-Fi IEEE 802.11n 工作于 2.4 GHz 和 5 GHz 频段,最高速率可达 300 Mbps。



3. 蓝牙

蓝牙的英文全称为 Bluetooth,工作于 2.4 GHz 频段。蓝牙技术最早由爱立信公司在 1994 年开始研发,其目的是通过一种短距离无线连接替代现有的有线连接,研究一种能使手机与其附件(如耳机)之间相互通信的无线模块,之后诺基亚与 IBM 也加入进来共同推出了蓝牙技术。

作为有线电缆的替代技术,蓝牙具有较低成本、中等传输速率的特点,可使内部嵌有蓝牙芯片的计算机、手机和多种便携式通信终端互联起来,为其提供语音和数字接入服务。

蓝牙技术工作于 2.4 GHz 频段,此频段是全球开放 ISM 频段,使用调频扩频方式,数据传输带宽可达 1 Mbps。异步非对称连接最高数据速率为 723.2 kbps,能够在 10 m 半径范围内实现单点对多点的无线数据和声音传输,加大信号输出功率和提高接收灵敏度,其通信距离可达几十米。

蓝牙技术被归入了 IEEE 802.15.1,规定了包括物理层(Physical Layer, PHY)、媒体访问控制(Medium Access Control, MAC)、网络和应用层等协议,为对语音和特定网络提供支持,需要协议栈提供 250 KB 系统开销,从而增加了系统的成本和集成复杂性,蓝牙对每个无线个域网最多只能配置 7 个节点,因此也制约了其在大型传感器网络中的应用。

目前,新的蓝牙标准和技术也在加强速率与距离方面的研究,以进行完善和提高。

4. ZigBee

(1) ZigBee 技术概述。

ZigBee\IEEE 802.15.4 是一种新兴的短距离、低速率、低成本、低功耗和低复杂度的无线网络技术。

ZigBee 技术是建立在 IEEE 802.15.4 标准之上,由 ZigBee 联盟对其进行了标准化,并由 ZigBee 联盟(目前成员已超过 200 个公司)和 IEEE 802.15.4 任务组——针对低速率无线个域网(Low-Rate Wireless Personal Area Network, LR-WPAN)的任务组——合作共同制定的通信协议标准,该协议标准被命名为 ZigBee。

(2) ZigBee 的主要特点。

①工作频段。ZigBee 使用的频段仅有 3 个,分别是:

- 2.4 GHz 的 ISM 频段:有 16 个传输速率为 250 kbps 的信道。
- 欧洲的 868 MHz 频段:有 1 个传输速率为 20 kbps 的信道。
- 美国的 915 MHz 频段:有 10 个传输速率为 40 kbps 的信道。

我国使用 2.4 GHz 的 ISM 频段是免申请和免付费的频段,使用的是 11~26 号共 16 个频道,各信道的数据传输速率均为 250 kbps。

②低功耗。在低功耗模式下 2 节 5 号电池可使用 6~24 个月。

③低成本。ZigBee 数据传输率低,协议简单,大大降低了成本。

④网络容量大。网络最大可容纳 65 536 个设备。

⑤时延短。典型搜索设备时延为 30 ms,休眠激活时延为 15 ms。

⑥网络的自组织、自愈能力强,通信可靠。

⑦数据安全。ZigBee 提供了数据完整性检查和鉴权功能,可采用 AES-128 加密算法,灵活确定其安全属性。



1.2 无线传感器网络

1.2.1 基本概念

无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是当前国内外备受关注的、涉及多学科、知识高度集成的研究领域,它综合了传感器技术、嵌入式计算技术、现代网络以及无线通信技术和分布式信息处理技术等多种技术,能够通过各种微型传感器节点实现如下功能:

- (1)实时监测和采集网络分布区域内各个被监测对象的信息。
- (2)将收集到的信息进行初步处理。
- (3)将初步处理后的信息,通过随机自组织网络以多跳中继方式发送到网关节点(汇聚节点)。
- (4)通过网关节点,对信息进行再处理。
- (5)再处理后的信息传送到管理节点(用户终端)。

以完成指定范围内目标检测与跟踪,可以视为一种全新的信息获取平台,从而实现物理世界、计算机世界和人类社会这三元世界的连通。

由于无线传感器网络具有可到处布放的特点及集体分析的能力,与传统计算机系统相对集中不同,因此也可被视为一种全新的计算机系统。无线传感器网络还具有众多类型的传感器节点,可用来探测包括地震、电磁、温度、湿度、噪声、光强度、压力、土壤成分以及移动物体大小、速度、方向等多种多样周边环境的参数,所以应用前景非常广阔。

无线传感器网络是一个由大量廉价的传感器节点组成的无线自组织网络,每个传感器节点由传感单元、处理单元、无线通信单元和能量供应单元4部分组成,如图1.2所示。

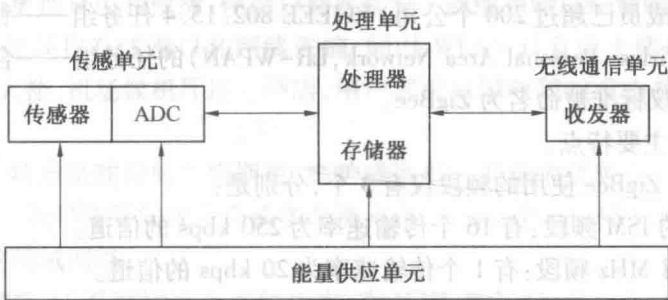


图 1.2 无线传感器网络节点的结构

综上所述,一个普遍被接受的无线传感器网络被定义为:大规模、无线、自组织、多跳、无基础设施支持的网络,其中节点是同构的,成本较低,体积较小,大部分节点不移动,可被随意地安放在监测区域内,要求网络系统功耗低,有尽可能长的工作时间。

1.2.2 无线传感器网络的网络结构

一个典型的无线传感器网络的网络结构如图1.3所示。它包括传感器节点(Sensor Node)和汇聚节点(Sink Node),有时还包括与其他网络互联的网关和管理节点等。

在无线传感器网络中,节点可以通过飞机布撒、人工布置等方式大量布放在被监测对象



的内部或附近。这些节点通过自组织方式构成无线网络,以协作的方式感知、采集和简单处理覆盖区域内指定的信息,可以实现对任意地点的信息在任意时间的采集、处理和分析。这种以自组织形式构成的网络,通过多跳中继方式将数据传到汇聚节点,最后借助有线或无线接入网络与 Internet 送到管理节点。

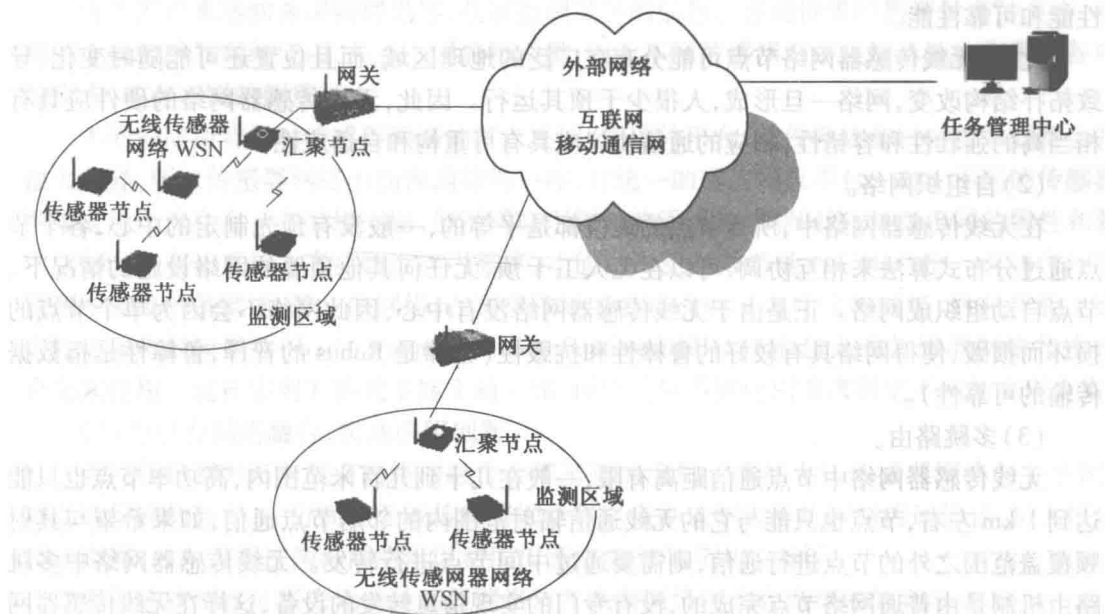


图 1.3 无线传感器网络的网络结构

传感器节点通常是一个微型的嵌入式系统,具有感知物理数据和简单的数据处理能力,一般通过能量有限的电池供电,要求低功耗。从网络的功能上看,每个传感器节点既具备传统网络节点的终端功能,也具备路由器功能,除了进行本节点信息收集和简单处理之外,还具有对其他节点送来的信息进行转发的能力。

汇聚节点是传感器网络中的协调器设备,其处理能力、存储能力和通信能力比传感器节点强,一般没有感知能力,但有可靠稳定的电源为其供电,功耗问题处于次要地位。

汇聚节点一般通过无线方式连接传感器网络,通过网关与有线或具有可靠通信质量的无线接入网络与 Internet 等外部网络通信,网关可以实现两种通信协议栈之间的通信协议转换,把汇聚节点收集到的传感数据转发到外部网络中。

管理节点一般即为普通的计算机系统,充当无线传感器网络服务器的角色,通过与传感器节点和汇聚节点的信息传递来监控整个网络的数据与状态。

1.2.3 无线传感器网络的特点

无线传感器网络是一种新型的计算机网络,是由大量传感器节点通过无线通信技术自组织构成的网络,可以实现数据的采集、量化、处理与传输。它是信息技术中的一个新的领域,在军事、工业、交通和民用领域均有广阔的应用前景。作为一种新型的计算机网络,它有以下一些特点,具有某些优势,也面临若干挑战。



(1) 网络规模大, 传感器节点数量多。

为得到可靠精确的信息, 在无线传感器网络的监测区域之内, 一般布放大量传感器节点, 节点密集、数量巨大, 可能达到几百、几千甚至更多, 对通过不同空间视角获得的大量信息进行分布式处理, 能够提高监测的精确度, 大量冗余节点的存在使得系统具有很强的容错性能和可靠性能。

此外, 无线传感器网络节点可能分布在广泛的地理区域, 而且位置还可能随时变化, 导致拓扑结构改变, 网络一旦形成, 人很少干预其运行。因此, 无线传感器网络的硬件应具有相当高的强壮性和容错性, 相应的通信协议应具有可重构和自适应性。

(2) 自组织网络。

在无线传感器网络中, 所有节点的地位都是平等的, 一般没有预先制定的中心, 各个节点通过分布式算法来相互协调, 可以在无人工干预、无任何其他预置的网络设施的情况下, 节点自动组织成网络。正是由于无线传感器网络没有中心, 因此网络不会因为单个节点的损坏而损毁, 使得网络具有较好的鲁棒性和抗毁性(鲁棒是 Robus 的音译, 鲁棒性是指数据传输的可靠性)。

(3) 多跳路由。

无线传感器网络中节点通信距离有限, 一般在几十到几百米范围内, 高功率节点也只能达到 1 km 左右, 节点也只能与它的无线通信辐射范围内的邻居节点通信, 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转发。无线传感器网络中多跳路由机制是由普通网络节点完成的, 没有专门的实现信息转发的设备, 这样在无线传感器网络中, 每个节点既可以是信息的发起者, 又可以是信息的转发者。

(4) 网络的动态性能。

无线传感器网络中的传感器、感知对象和观察者这 3 个要素都可能具有一定的移动性, 一个节点可能会因为电池能量耗尽或其他故障退出网络运行, 一个节点可能由于工作需要而加入到网络之中。网络中节点处在不断变化的环境中, 加上无线信道的不稳定, 都会导致网络拓扑结构的动态变化, 传感器、感知对象和观察者三者之间的路径也随之变化, 这样网络就必须具有可重构性和自调整的能力。

(5) 以数据为中心的网络。

传感器网络是一个任务型网络, 传感器网络中节点采用编号来识别, 节点编号是否全网唯一, 取决于网络通信协议。由于传感器节点随机布放, 构成传感器与节点编号之间的关系是动态的, 表现为节点编号与节点位置和节点功能之间没有必然联系。用户在传感器网络中查询某个信息或事件时, 直接将所关心的事件或信息以广播方式通告给网络中的所有节点, 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再汇报给用户, 这种以数据本身(事件或信息)作为查询和检索的思想更接近于自然语言交流的习惯, 所以通常说无线传感器网络是一个以数据为中心的网络。

例如, 在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, 对目标感兴趣的用戶只关心目标出现的位置和时间, 并不关心几个节点监测到了目标, 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地址信息。

应当说明, 在无线传感器网络中并非所有的寻址方式都是以数据为中心, 而是根据应用



条件采用不同的方式。

由于以数据为中心的特点,要求传感器网络设计把数据库技术和网络技术紧密结合起来,从逻辑概念和软、硬件技术两方面实现一个高性能的网络系统,方便用户使用。

(6) 灵活、多样的应用网络。

传感器用来感知客观物理世界,获取物理世界的信息。客观世界的物理量多种多样,不同的无线传感器网络应用,关心不同的物理量,因此不同传感器网络应用系统也有各种各样的需求,各有不同的侧重。

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异,所以传感器网络不能像因特网一样,有统一的通信协议平台。对于不同的传感器网络应用虽然存在一些共性问题,但不同应用领域的无线传感器网络,具有不同的属性和要求,因此,只有让系统方案更贴近应用需求,才能做出更高效节能的应用系统。例如在环境监测中需要的是低速、静止的网络;在军事领域需要移动的实时性强的网络;而在智能交通中还需要将射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)技术与无线传感器网络技术融合起来使用。这样实现方案就不能千篇一律,而应适应不同应用需求制定不同的实现方案。

(7) 与已有网络融合,实现应用创新。

无线传感器网络与既有网络的融合会带来新的应用。例如无线传感器网络与互联网、移动通信网的融合,一方面使无线传感器网络得以借助这两种传统网络传递信息,扩大信息传送距离;另一方面这两种网络可以利用传感信息实现应用的创新。

例如物联网就可视为无线传感器网络与互联网网络相结合而产生的新型网络。

1.2.4 无线传感器网络节点的现实问题

传感器节点在实现各种网络协议和应用系统时,存在以下一些限制条件。

(1) 电源能量有限。

无线传感器网络节点体积微小,通常是携带能量十分有限的小型电池,由于传感器节点数目众多,成本要求低,分布区域广,而且放置的地点环境复杂,经常更换电池是不现实的,如何高效使用能源、减少损耗是无线传感器网络面临的首要问题。

无线传感器网络消耗能量的单元包括传感器单元、处理单元和无线通信单元。随着集成电路工艺的进步,处理器单元和传感器单元的功耗都变得很小,绝大部分能量消耗在无线通信单元上。

无线通信单元存在发送、接收、空闲和睡眠4种状态,它在空闲状态一直监听无线信道的使用情况,如何让网络通信高效节能,减少不必要的转发和接收,不需要通信时尽快转入睡眠状态,是传感器网络解决能量消耗的主要措施之一。

(2) 通信功能有限。

无线通信的通信距离和能量消耗息息相关,研究结果得出,能耗与距离的三次方成正比,随着通信距离的增加,能耗急剧增加。一般认为传感器节点的无线通信半径在100 m以内比较合适。

为了延长通信距离,无线传感器网络采用“多跳”来实现低功耗下的数据传输。

另外,无线传感器网络的数据传输速率很低,只有几百 kbps,由于节点供电能量的变化,受高山、建筑物、障碍物等地形地貌以及风雪雷电等自然环境的影响,无线通信性能可能