

STM32W无线射频 ZigBee单片机 原理与应用

沈建华 郝立平 编著



STM32W 无线射频 ZigBee 单片机原理与应用

沈建华 郝立平 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

STM32W 是基于 IEEE 802.15.4 标准和 ARM Cortex-M3 内核的高性能、低功耗、内嵌网络协议栈的无线射频单片机。全书共 7 章:第 1 章介绍几种短距离无线网络技术及标准、协议;第 2 章介绍 STM32W108 芯片及其电气特性;第 3 章和第 4 章详细描述 STM32W108 的系统模块、射频模块和片内外设的功能、原理和编程结构;第 5 章介绍 STM32W108 的开发环境和工具;第 6 章详细说明 STM32W108 的 MAC、ZigBee(包括安全)和 RF4CE 等网络协议库的结构和使用方法;第 7 章介绍基于 STM32W108 的硬件设计、应用模块和开发套件,并列出了 2 个应用设计实例。

本书适合于从事无线传感网、ZigBee/RF4CE、物联网、无线仪器仪表、无线遥控等应用系统开发的工程技术人员学习参考,也适合作为无线传感网、物联网等实践课程的教材,以及 STM32W 的培训、自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

STM32W 无线射频 ZigBee 单片机原理与应用/沈建华,郝立平
编著. -- 北京:北京航空航天大学出版社,2010.9
ISBN 978-7-5124-0211-9

I. ①S… II. ①沈…②郝… III. ①无线电信号—射频—信
号识别②单片微型计算机 IV. ①TP911.23②TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 174597 号

版权所有,侵权必究。

STM32W 无线射频 ZigBee 单片机原理与应用

沈建华 郝立平 编著

责任编辑 刘 晨

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:emsbook@gmail.com 邮购电话:(010)82316936

北京市松源印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:23.75 字数:608 千字

2010 年 9 月第 1 版 2010 年 9 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-5124-0211-9 定价:45.00 元

前言

无线通信技术由于其灵活、易用性一直是嵌入式开发应用的热点,从简单的无线遥控到 RFID、WSN、WiFi 以及 GPRS/3G 等,每种技术都有其技术特点和适用范围。从实际情况来看,简单的无线应用还是广泛存在的,如遥控门窗、车库等,这类应用从 RF 到通信协议几乎没有国际标准,有各个厂家自定的产品标准。但随着应用的日趋复杂,对应用系统稳定性、可靠性、兼容性要求越来越高,符合相关国际标准、协议的无线技术得到快速发展。目前得以广泛应用的无线技术,如 RFID、WiFi、GPRS/3G 等,都对应有较完善的国际标准或行业标准,从物理层到应用层,通信协议的完整性有保证,使得各个厂商的产品可以互联互通,既有利于技术的推广应用,也有利于因为规模效应而降低产品成本。

无线传感网(WSN)技术提出已经有很多年了,其低功耗、低速率、自组网的特点正好弥补了 RFID、WiFi 等技术的不足,一直被技术、应用等许多领域所看好,但发展却一直比较缓慢。其中的原因,既有 WSN 技术本身在不断完善,又有除了 802.15.4 MAC 标准,网络层、应用层协议没有相关标准,使得真正的大规模应用很难展开。前几年的 WSN 应用,基本上是基于 802.15.4 MAC 标准,各个厂商或用户自主开发的独立封闭应用,几乎没有可以互联互通的独立产品。

我们从 2003 年开始从事 WSN 的研究与应用,先后在 MSP430 + CC2420/CC2520、CC2530/2531 等硬件平台上,移植了 TinyOS 1.0/2.0、ZStack 等协议,并自主开发了具有自动路由功能的 WSN 协议栈、WSN/ZigBee 教学、研究平台以及一些独立的应用系统。总体感觉是:WSN/ZigBee 的开发应用,由于网络协议的复杂性和实际应用的可靠性要求,对开发人员的技术要求较高,必须熟悉这些协议(而这些协议本身也不完善),再进行移植、修改和应用开发。无线传感网技术要大规模地普及应用,必须有比较稳定、成熟的网络协议栈,就像从事嵌入式以太网应用开发的人员,一般也是使用稳定、现成的网络协议栈(如 TCP/IP),直接进行应用开发。

ZigBee 的目标,就是试图改变上述这种局面,但其发展过程也比较缓慢。ZigBee 协议从草案到目前的 ZigBee Pro 版本,经历了多次大幅度的修改,早期的版本很不完善。几年前,不同厂商的 ZigBee 模块产品,虽然都声称是 ZigBee 标准的,但他们之间甚至也不能互联,这种情况一直到 ZigBee 2007 Pro 的推出,这是一个比较完善的协议标准,多家公司推出的基于 ZigBee 2007 Pro 标准的协议栈,证明了其良好的性能和兼容性,典型的就是 Ember 公司的协议栈。由于 ZigBee 协议的完善及其协议栈的成熟,目前 WSN/ZigBee 的推广应用已经到了一个转折点,大规模的应用即将开始。美国能源部(U. S. Department of Energy)根据其最初智能电网(Smart Grid)开发标准框架,已经把 ZigBee Smart Energy 作为家庭局域网络(HAN)能源设备通信标准。

意法半导体(ST)公司于 2009 年底推出的 STM32W 系列无线射频 WSN/ZigBee 单片机,

采用 32 位 ARM Cortex-M3 内核,片上整合 2.4 GHz IEEE 802.15.4 收发器和低功耗 MAC、AES 128 硬件加密引擎,STM32W108 内置 128KB Flash 和 8KB SRAM,具有高性能、低功耗的特点。另外,STM32W108 的发射功率软件可调,最大可达 +7 dbm,是目前 ZigBee 单芯片中最大的,不用外加射频功放(PA),通信距离就可以达到百米左右。最值得注意的是,STM32W 采用硬件固化协议栈的方法(三个版本芯片分别固化了 ZigBee、RF4CE 和 MAC),屏蔽了 RF 部分的寄存器,使用户不必理解、移植有关 WSN/ZigBee 协议栈以及射频部分的技术细节,就可以直接利用协议栈提供的 API 进行自己的应用开发,大大简化了应用系统开发,有利于产品快速上市。如 STM32W108CUB61 芯片固化了由 Ember 公司提供的、经过 ZigBee Alliance 认证的 ZigBee 2007 Pro 协议栈,具有优异的性能和良好的兼容性,可以和其他经过 ZigBee Alliance 认证的第三方产品互联互通。可以相信,STM32W108 的推出,将对无线传感网、物联网应用产生巨大的推动作用。

为了尽快在中国推广 STM32W,ST 公司授权委托华东师范大学计算机系嵌入系统实验室,整理出版一本 STM32W 的中文书。此书的主要内容取自 ST 提供的原版资料(datasheet、user manual 等),应用实例部分取自我们自主开发的一些项目和产品。由于 2.4GHz RF 的特殊性,为方便广大读者快速进行评估、测试,我们开发了与本书配套的开发套件,并由 ST 公司的中国第三方合作伙伴上海庆科信息技术有限公司(www.mxchip.com)负责销售,有需要的读者可以直接和他们联系。

本书共 7 章,其中第 4 章和第 5 章由煤炭科学研究总院上海分院郝立平编写。在本书成稿过程中,得到了 ST(中国)RF 产品经理 Nicon Yang、赵鑫,IAR(中国)总经理 Tony Ye,上海庆科信息技术有限公司王永虹、徐炜,以及北航出版社胡晓柏的大力支持。华东师范大学计算机系周朝丽、洪唯银、许青青、李吉、匡鑫、邢诗宁、镇咸舜等做了很多代码验证、资料整理工作,在此向他(她)们表示衷心的感谢。

由于时间仓促和水平所限,错误之处在所难免,恳请各位读者批评指正,以便我们及时修正。

沈建华

2010 年 7 月于华东师范大学



第 1 章 概 述	1
1.1 标准无线射频技术	1
1.2 无线传感网(WSN)技术	2
1.2.1 特 性	3
1.2.2 标准和规范	3
1.2.3 软件结构	3
1.2.4 操作系统	4
1.2.5 算 法	5
1.2.6 信息处理	5
1.2.7 关键问题	5
1.3 IEEE 802.15.4	6
1.3.1 协议架构	7
1.3.2 网络模型	9
1.3.3 数据传输架构.....	10
1.3.4 可靠性和安全性.....	11
1.4 ZigBee	12
1.4.1 ZigBee 协议栈	12
1.4.2 ZigBee 寻址机制	13
1.4.3 硬件和软件.....	14
1.4.4 协 议.....	14
1.4.5 设备类型.....	15
1.4.6 网络拓扑.....	16
1.4.7 路由机制.....	17
1.4.8 应 用.....	18
1.5 RF4CE	19
1.6 6LoWPAN	21
1.7 STM32W108 简介.....	22
第 2 章 STM32W108 引脚与电气特性	25
2.1 STM32W108 的引脚.....	25
2.2 操作条件.....	35
2.2.1 绝对最大额定值.....	35

2.2.2	正常操作条件	36
2.2.3	上电操作条件	37
2.3	时钟频率	38
2.3.1	高频内部时钟特性(表 2.10)	38
2.3.2	高频外部时钟特性(表 2.11)	38
2.3.3	低频内部时钟特性(表 2.12)	39
2.3.4	低频外部时钟特性(表 2.13)	39
2.3.5	ADC 特性	39
2.4	直流电气特性	41
2.5	数字 I/O 特性	44
2.6	非 RF 系统电气特性	45
2.7	RF 电气特性	46
2.7.1	Rx 接收	46
2.7.2	Tx 发射	46
2.8	型号命名与封装	47
2.8.1	STM32W108 型号命名	47
2.8.2	STM32W108 封装尺寸	48
第 3 章	STM32W108 系统模块	51
3.1	内部供电域	52
3.1.1	内部稳压电源	52
3.1.2	外接稳压电源	53
3.2	复位与时钟	53
3.2.1	复位	53
3.2.2	时钟	56
3.3	系统定时器	58
3.3.1	树型狗定时器	58
3.3.2	睡眠定时器	59
3.3.3	事件定时器	59
3.4	电源管理	59
3.4.1	唤醒源	60
3.4.2	基本睡眠模式	60
3.4.3	可选的深睡眠	62
3.4.4	睡眠模式下使用调试器	62
3.5	内部存储器	62
3.5.1	Flash 存储器	63
3.5.2	随机访问存储器 SRAM	64
3.5.3	存储保护单元	65

3.6	硬件 AES 加速器	65
3.7	无线射频模块	65
3.7.1	接收(Rx)通道	66
3.7.2	发送(Tx)通道	66
3.7.3	校 准	67
3.7.4	集成 MAC 模块	67
3.7.5	包跟踪接口(PTI)	67
3.7.6	随机数发生器	68
3.8	调试支持	68
第 4 章	STM32W108 片内外设	69
4.1	GPIO	69
4.1.1	功能描述	70
4.1.2	外部中断	74
4.1.3	调试控制和状态	75
4.1.4	I/O 复用功能	75
4.1.5	通用输入输出(GPIO)寄存器	77
4.2	通用定时器	83
4.2.1	功能描述	84
4.2.2	定时器中断	111
4.2.3	通用定时器(1 和 2)寄存器	111
4.3	串行接口	126
4.3.1	功能描述	126
4.3.2	配 置	127
4.3.3	SPI 主模式	128
4.3.4	SPI 从模式	131
4.3.5	双线串行接口(TWI)	134
4.3.6	通用异步收发器(UART)	137
4.3.7	直接内存访问(DMA)通道	141
4.3.8	串行控制器寄存器	142
4.3.9	SPI 主模式寄存器	144
4.3.10	SPI 从模式寄存器	146
4.3.11	双线串行接口(TWI)寄存器	146
4.3.12	通用异步收发器(UART)寄存器	147
4.3.13	DMA 通道寄存器	149
4.4	模数转换器 ADC	155
4.4.1	功能描述	156
4.4.2	ADC 中断	161

4.4.3	模数转换(ADC)寄存器	162
4.5	中 断	166
4.5.1	嵌套向量中断控制器(NVIC)	167
4.5.2	事件管理器	169
4.5.3	嵌套向量中断控制器(NVIC)中断	172
第 5 章	STM32W108 开发工具	177
5.1	IAR EWARM	177
5.1.1	安装 IAR	178
5.1.2	创建一个 IAR 工作区	180
5.1.3	创建一个新工程	181
5.1.4	添加文件或新建文件	182
5.1.5	设置工程选项卡	183
5.1.6	编译和链接	186
5.2	仿真器	186
5.2.1	安装仿真器驱动	187
5.2.2	调 试	187
5.2.3	调试窗口	188
5.3	抓包分析工具	189
5.3.1	EmSniffer 简介	190
5.3.2	软件功能	190
第 6 章	STM32W108 协议栈与应用	199
6.1	STM32W108 固件类型	199
6.2	IEEE 802.15.4 MAC 协议栈与应用	200
6.2.1	使用 MAC 库 API 设计一个应用程序	201
6.2.2	STM32W108 MAC 应用示例	210
6.3	EmberZNet 协议栈与应用	225
6.3.1	基础应用设计	225
6.3.2	安全概述与设计	235
6.3.3	高级设计考虑	262
6.3.4	sink_sensor 实验例程	277
6.4	RF4CE 协议栈与应用	294
6.4.1	RF4CE 协议栈基础	294
6.4.2	使用 STRF4CE API	296
6.4.3	使用 RF4CE 库设计一个应用程序	302
6.4.4	RF4CE 应用示例	304
6.4.5	RF4CE 示例代码	309
第 7 章	STM32W108 系统设计与应用	320
7.1	STM32W108 硬件设计	320
7.1.1	RF 设计	320

7.1.2 非 RF 设计	323
7.2 2.4 G 天线选择与设计	325
7.2.1 2.4 G 天线分类与选择	325
7.2.2 2.4 G 倒 F 型 PCB 天线	330
7.2.3 2.4 G 小尺寸 PCB 天线	331
7.3 STM32W108 应用模块与开发套件	332
7.3.1 STM32W108 应用模块(EMZ3018/3118)	332
7.3.2 开发套件	337
7.4 基于 STM32W108 的环境监测仪	355
7.4.1 硬件设计	355
7.4.2 软件设计	358
7.5 ZigBee—WiFi 无线数据采集网关	362
7.5.1 硬件设计	363
7.5.2 软件设计	365
7.5.3 网关接口扩展	369
参考文献	370

第 1 章

概 述

1.1 标准无线射频技术

目前存在着很多种类的无线数据传输技术,有些技术有着广泛应用,彼此竞争市场,也有些技术是为了一些特殊的应用而设计,在这些特殊应用方面有着突出的优势。

WiFi、蓝牙(Bluetooth)和 WSN/ZigBee 是目前 3 种常见的短距离无线通信技术,表 1.1 列出了它们的主要特征。

WiFi 是目前最成功的无线局域网(WLAN)系统,它基于 IEEE 802.11 技术标准,通过近几年的快速发展,基础架构设施已经比较完善,无线接入热点(AP)覆盖已经很广,价格也很便宜。这样的系统可通过个人权限接入无线互连网,并访问本地网络中的其他系统,比如其他计算机、共享打印机和其他类似设备。通常,WLAN 的带宽和传输延迟比许多其他类型的用户互联网连接(如 ADSL、GPRS 和 3G)要好得多,因为 WLAN 既提供访问互联网服务,也提供本地通信服务。WiFi 在许多场合访问速度更多是受到共享连接和用户人数的限制,而非技术本身。WiFi 的突出优势是传输带宽、技术成熟度、开放的网络协议,以及基础接入产品、设施的完备和广泛覆盖。

蓝牙(Bluetooth)也已经发展了多年,技术也比较成熟,它基于 IEEE 802.15.1 技术标准,主要应用目标是取代短距离的有线电缆。目前蓝牙技术主要应用于无线音频(如蓝牙耳机),与当初的发展蓝图有很大差距。现在很多蓝牙设备(如手机)都是单一特定功能的,一般不开放其他应用编程接口,这使得用户自己不能通过编程来拓展蓝牙接口的功能,限制了其应用范围,也影响了蓝牙技术的推广。

无线传感网(WSN)是近几年研究、开发的一种新技术,它的应用目标是低数据速率的监测、控制系统,如环境监测、自动抄表系统等,这类应用实时性要求不高、数据传输量较小,不需要高的带宽,但往往要求设备有很低的功耗。另外,这些应用网络节点数较多、形态多变,要求节点能无需配置、自动组网、鲁棒性好。ZigBee 作为 WSN 的一种实现,目前有很高的认知度。WSN、ZigBee 在本章的后续小节将作进一步介绍。

表 1.1 WiFi、蓝牙(Bluetooth)和 WSN/ZigBee 比较

市场名	WiFi	蓝牙(Bluetooth)	WSN/ZigBee
采用标准	802.11	802.15.1	802.15.4
应用目标	Web、Email、多媒体	电缆替代	监测、控制
网络结构	星型	星型	星型、树型、网状
网络规模(节点数)	32	7	上万
带宽/(kb/s)	11000+	720	250
通信距离/m	1~100	10+	1~100
枚举延迟	3 s	10 s	30 ms
电池寿命	几小时	几天	多至几年
优势	速度、覆盖	廉价、方便	低功耗、低成本、可靠、规模

1.2 无线传感网(WSN)技术

无线传感网最初应用于军事领域,近年来越来越多地应用于工业和民用领域,比如工业过程监测和控制、机械健康监测、环境和栖息地监测、医疗应用、家庭自动化、交通管制等。

无线传感网(Wireless Sensor Network, WSN)是由部署在监测区域内大量的廉价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,如图 1.1 所示,其目的是协作感知、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。传感器、感知对象和观察者构成了无线传感网的三个要素。

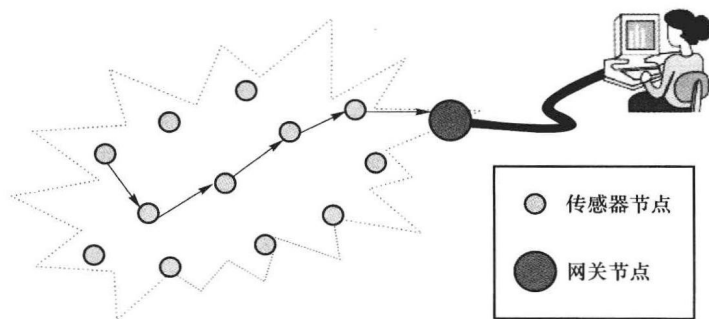


图 1.1 典型的多跳无线传感网络示意图

传感器节点可以看作是一种非常小型的计算机,一般由以下几部分组成:

- ① 处理器和内存(一般功能都比较有限)。
- ② 各类传感器(温度、湿度、声音、加速度、全球定位等)。
- ③ 通信设备(一般是无线电收发器或光学通信设备)。
- ④ 电源(一般是干电池,也有使用太阳能电池的)。
- ⑤ 其他设备,包括各种特定用途的芯片,串行并行接口等。

传感器节点的尺寸和成本相差很大,主要受制于电源、内存、运算速度和带宽的限制。除

了传感器节点外,WSN 中一般有一个或几个基站,其作用是从各个传感器节点收集数据,集中处理,然后提交给用户。因此,基站一般拥有更强的数据处理和通信能力以及更持久的电力。

WSN 通常会构成一个无线 ad-hoc 网络,每个传感器都支持多跳路由算法。

1.2.1 特 性

WSN 有一些独特的特性:

- 能够承受恶劣的环境条件。
- 能够应付节点失效。
- 节点的可动性。
- 动态网络拓扑。
- 通信故障容忍。
- 节点的异构性。
- 大规模部署。
- 无人值守操作。
- 节点容量可扩展,仅受网关节点带宽的限制。

1.2.2 标准和规范

目前,有一些标准已经得到批准可以在无线传感网中使用,还有一些正在针对无线传感网的使用而发展,另外还有一些非标准的专有机制和规范也可用于无线传感网中。

其中,6LoWPAN、ISA100、WirelessHART 和 ZigBee/Rf4CE 都是基于相同的底层无线电标准 IEEE 802.15.4 的常用于 WSN 的协议。

6LoWPAN 是 IETF 中的一个工作小组,他们已经制定了一个 IPv6 数据包在 IEEE 802.15.4 网络中传输的标准跟踪规范。

EnOcean 是一个实现楼宇自动化无线通信的系统,它不是一个被认可的标准化规范。

国际电工委员会(IEC)在 2010 年 4 月认可 WirelessHART 规范为国际标准(IEC 62591Ed. 1.0)。

IEEE 1451 正在尝试创建智能传感器市场的标准。

ISA100 对工业控制应用提出了更多的协定。

WirelessHART 标准是 HART 协议的扩展,它是专为工业应用设计的。

ZigBee 是 IEEE 标准网络规范,应用范围广泛,它还有一些额外的通信功能,如认证、加密以及上层的应用服务。

1.2.3 软件结构

电源是 WSN 节点最稀缺的资源,它决定了 WSN 网络节点的寿命。WSN 网络要在各种环境中都能应用,包括偏远恶劣的环境,而 ad-hoc 通信是其中关键。基于这个原因,算法和协

议需要解决以下问题:

- 电池寿命最大化。
- 健壮性和容错性。
- 自配置。

WSN 软件研究中的热点问题有:

- 安全。
- 可移动性(传感器节点或基站的移动)。
- 中间层:在软件和硬件之间。

整个 WSN 功能分为三层:最下层是各种敏感单元,负责收集原始信息;中间层是基于传感器智能模块的从节点,负责对原始数据的预处理(包括滤波、补偿、数字化等)和处理后数据的发送;最上层是基于普通 PC 或其他类型上位机(如嵌入式计算机)的主节点,所有传感器的信息在这里进行更高一级处理,如谱分析、模式识别、信息融合、判断决策等。

WSN 多采用五层协议标准:应用层、传输层、网络层、数据链路层、物理层。其中物理层和数据链路层由 IEEE802.15.4 协议模块组成。

1.2.4 操作系统

由于特殊应用要求和硬件平台资源的限制,无线传感网节点的操作系统比通用操作系统简单得多。例如,传感器网络应用通常不需要人机交互,所以操作系统不需要支持用户界面。此外,虚拟内存等内存管理和内存映射功能没有必要使用,或者无法使用。

无线传感网硬件与传统的嵌入式系统并无太多差别,因此可以使用嵌入式操作系统,如 eCos 或 uC/OS。然而这些操作系统大多是实时的,但传感器网络通常不支持实时功能。

TinyOS 是第一个为无线传感器网络设计的操作系统。与其他大多数操作系统不同, TinyOS 基于事件驱动编程模型,而不是多线程。当一个外部事件发生,如收到数据包或传感器读数, TinyOS 调用相应的事件处理程序来处理该事件。之后事件处理程序把任务提交给 TinyOS 内核。TinyOS 系统和程序都是用 nesC 编写的, nesC 是 C 语言的扩展。

也有一些操作系统可以用 C 语言编程,比如 Contiki, MANTIS, BTnut, SOS, Nano-RK。Contiki 支持网络中的模块加载和标准 ELF 文件的运行中加载。Contiki 内核和 TinyOS 一样是事件驱动的,但系统同样支持应用程序多线程驱动。此外,Contiki 还包含了线程模型,它是一种在非常小的内存开销下实现实时多任务系统的方法。与事件驱动的 Contiki 不同, MANTIS 和 Nano-RK 内核基于抢占式多线程。这种情况下,应用程序不需要明确给其他进程让出处理器,而是由内核划分进程的运行时间,并决定现在应该执行哪个进程。Nano-RK 是一种实时内核,很好地控制着任务获得 CPU、网络和传感器的方法。与 TinyOS 和 Contiki 相同, SOS 也是一个事件驱动的操作系统, SOS 最主要的特征就是对装载模块的支持,为了支持模块接口的内在活动性, SOS 还支持动态内存管理。BTnut 基于合作式多线程,使用 C 代码。

LiteOS 是一种为无线传感器网络而新开发的操作系统,它提供类似 UNIX 的抽象,并支持 C 语言。

ERIKA Enterprise 是无线传感网操作系统中的新成员,作为开源的实时内核, ERIKA Enterprise 提供了与用于汽车的 OSEK/VDX API 相似的操作系统 API,以及 uWireless 协议

栈,它还提供了支持保证时隙(GTS)的 802.15.4,这一点对于使用无线传感网的实时流量保障来说至关重要。

1.2.5 算法

WSN 是由大量的传感器节点组成的,因此,它使用的算法是分布式算法。在 WSN 中最稀缺的资源就是电能,而最耗能的功能是数据传输和闲置监听。因此,WSN 算法研究主要集中于节约能量的研究和设计,比如,使用数据压缩技术来减少传输的数据量,应用拓扑控制算法改变传感器节点的传输功率,或关闭节点但仍保持连接和覆盖。

另一个特征是,由于无线电传输范围的限制以及传输距离的增长导致成本增倍,所以每个节点都可以直接与基站通信是极不可能的,故而数据传输通常是多跳的(节点到节点,最终传输到基站)。

建模、仿真、分析 WSN 得到的算法与事实上使用的协议不同,它更抽象、更一般化、更易于分析。不过,这样的算法与协议设计使用的模型相比不太现实,因为它往往忽略了时间问题、协议开销、路由起始阶段,而且有时还会忽略分布式算法的执行情况。

1.2.6 信息处理

从无线传感器网络收集来的数据通常以数值型数据的形式存储在一个中心基站。此外,开放地理空间联盟(OGC)为互用性接口和元数据编码指定了标准,使异构传感器网络的数据实时整合并连入互联网,允许任何个人通过浏览器监控无线传感网。另外有几种技术可以检索节点的数据,一些协议依赖于淹没机制,另外一些运用 DHT 概念把数据映射到节点。

在无线传感网中,还需要进行信息融合,也称作数据融合,来对数据进行处理,包括筛选、汇总,并对收集的数据进行推理。信息融合对多来源的信息进行整理,使其更便宜、质量更高或关联性更强。在无线传感网域,简单的聚合技术,如最大值、最小值、平均值,都改进为可以降低整体的数据流量,以节约能源。

1.2.7 关键问题

1. 安全问题

无线传感器网络安全方面主要有以下几个问题:

- 信息被非法用户截获。
- 一个节点遭破坏。
- 识别伪节点。
- 如何向已有传感器网络添加合法的节点。

2. 能量效率

无线传感器网络不同于传统的无线网络(如 WLAN 和蜂窝移动电话网络),除了少数节点需要移动以外,大部分节点都是静止的。因为它们通常运行在人无法接近的,恶劣的,甚至

危险的远程环境中,能源无法替代,设计有效的策略,延长网络的寿命,成为无线传感器网络的核心问题。这些改进涉及物理层、数据链路层和网络层。物理层选择低功耗的调制方式和硬件设计。此外,在 MAC 层和网络层之间加入一个中间层,负责使传感器在不通信时尽可能进入睡眠模式或省电模式,可以大大降低节点的能耗。

3. 时钟同步

无线传感器网络的时钟同步不同于传统的传感器网络。无线传感器与实际的物理环境联系密切,必须采用物理时钟同步,无法使用相对简单的逻辑时钟。无线传感器要求必须采用低功耗工作,时间同步的数据交换受到限制。无线传感器网络覆盖面积大且通常为 Ad-hoc 的结构,不利于采用传统的时间同步方法。无线媒介连接方式不可靠。例如,无线传感器网络与实际的物理环境,监控系统的多传感器信息融合时,上位机需要知道每个原始数据是何时采集的,采样的触发要求每个节点有统一的时钟。无线传感器网络中的通信协议和应用,例如基于 TDMA 的 MAC 协议和敏感时间的监测任务等,也要求节点间的时钟必须保持同步。设计高精度的时钟同步机制是传感器网络设计中的应用中的一个技术难点。802.15.4 低速率工作组提供了一种协调件协议 MDP(Mediation Device Protocol),采用一个伪定义的节点接收网络内所有通信请求,并为通信双方协调会合时间。这个协议不需要额外添加新的硬件,对节点电池寿命的影响也很小,但是,消息的请求对此方案的影响很大。广播时间信标的方法是一种简单实用的同步策略,其基本思想是:节点以自己的时钟记录事情,随后用第三方广播的基准时间加以校正,精度依赖于对这段间隔时间的测量。这种同步机制应用在确定来自不同节点的监测事件的先后关系时有足够的精度。可以考虑精简已有的 NTP(Network Time Protocol)协议的实现复杂度,将其移植到传感器网络中。

4. 定位机制

无线传感器网络中的定位机制与算法包括节点自身定位和外部目标定位两部分,前者是后者的基础。在节点自身定位方面,普通采用了 GPS(Global Positioning System)技术。对于一些定位精度要求不高的项目,则应用了 LPS(Local Positioning System)。由于 GPS 不适合中国国情,可以采用一种依赖于自有技术实现传感器网络中节点定位的机制。在北斗一号双星定位系统的支持下,传感器网络中的某些节点就可以找到自己的精确位置,然后参照此基准,利用局部定位算法,其他节点也可以正确定位。此外,在这种模式下,北斗一号的上行数据通路恰好可以作为传感器网络的 sink 链路,将数据回传给控制中心,省去了用飞行器等其他手段收集数据的麻烦。确定了节点的基准位置,利用传统的定位机制和算法,如接收信号的强弱、角度和时间等,以及典型的三角形算法,就可以定位外部目标,这是相对成熟的技术。

1.3 IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4-2006 是低速无线个人局域网(LR-WPANs)的物理层和介质访问控制层的标准,由 IEEE 802.15 工作组维护,它是 WSN/ZigBee、WirelessHART 和 MiWi 标准的基础,这些标准都通过扩展标准中没有定义的上层协议来提供一个完整的网络解决方案。或者,还可以用 6LoWPAN 和标准网络协议建立一个无线嵌入式网络。

IEEE 802.15.4 为一种无线个人局域网提供基础低层,这种网络致力于实现低造价、低速度、无处不在的通信。其主要特征如下:

- 信道访问采用载波监听多路访问/冲突避免(CSMA-CA)。
- 可选时间槽和网络信标。
- 信息确认。
- 多级安全。
- 适合需要超长电池的设备,可以自选延迟来匹配不同的电源需求(传感器,远程监控)。

IEEE 802.15.4 的基本架构是创造一个传输速率为 250 kb/s 的 10 m 通信范围。20 和 40 kb/s 的传输速率在最初的版本中已经定义,100 kb/s 的速率正在加入到当前版本中。低速率往往是影响功耗的一大因素。

与其他 WPANs 标准相比,802.15.4 最主要的特点就是重点实现极低的生产经营成本和简单技术,同时不失灵活性和普遍性。

遵守 802.15.4 的设备可以使用三个可用频段中的一个。设备同样有电源管理功能,比如链路质量和能量检测。

1.3.1 协议架构

设备通过一个概念性的简单无线网络相互交流。网络层的定义基于 OSI 模型,虽然标准中只定义了底层,但它可以使用 IEEE 802.2 逻辑链路控制子层与上层交流,而这个逻辑链路控制子层则是通过一个会聚子层访问介质访问控制子层。这个功能的实现需要依赖外部设备或完全的嵌入式自运作设备。IEEE 802.15.4 协议栈如图 1.2 所示。

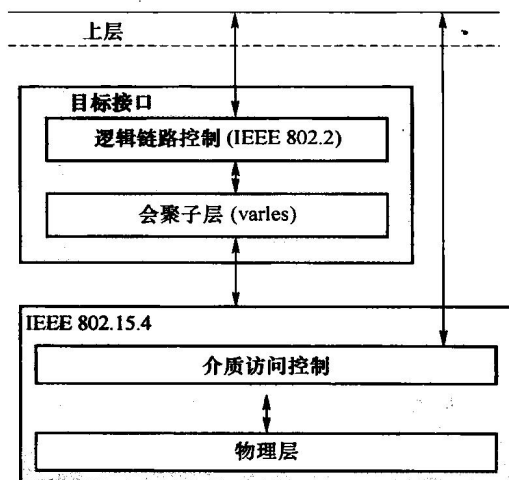


图 1.2 IEEE 802.15.4 协议栈

1. 物理层

物理层(PHY)提供最终的数据传输服务,同时提供物理层管理实体接口,这个实体可以访问每一层的管理功能和维护相关的个人局域网的信息数据库。因此,PHY 管理物理的