

巍巍交大 百年书香
www.jiaodapress.com.cn
bookinfo@sjtu.edu.cn



策划编辑 高 锐
责任编辑 胡思佳
封面设计 刘文东

无线传感网络技术

WUXIAN CHUANGAN WANGLUO JISHU

无线传感网络技术

主编 林志谋 刘静 田延娟

无线传感 网络技术

WUXIAN CHUANGAN WANGLUO JISHU

主编 林志谋 刘静 田延娟



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

免费提供

精品教学资料包

服务热线: 400-615-1233
www.huatengzy.com



扫描二维码
关注上海交通大学出版社
官方微信

ISBN 978-7-313-25660-7



9 787313 256607 >

定价: 58.00元



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

无线传感 网络技术

WUXIAN CHUANGAN WANGLUO JISHU

主 编 林志谋 刘 静 田延娟
副主编 林扬武 张 力 邢 燕
郭 军 张会奇 曾胜财



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书采用以项目为导向、任务驱动的编写思路,内容包括认识无线传感网络、CC2530 基本组件应用、BasicRF 无线通信、ZigBee 协议栈应用与组网、蓝牙 4.0 无线通信应用、WiFi 无线通信应用、NB-IoT 通信应用开发、LoRa 通信应用开发等,共 8 个项目、若干个任务。每个任务由任务要求、知识链接、任务实施和技能拓展等栏目组成,每个项目的后面都附有习题,便于读者复习巩固和加深拓展。

本书可以作为高等职业教育智能终端技术、物联网应用技术、电子信息工程技术、计算机应用技术和通信技术专业的教学用书,也可作为工程技术人员进行 ZigBee 技术、蓝牙技术、WiFi 技术、NB-IoT 通信技术、LoRa 通信技术等项目开发的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

无线传感网络技术 / 林志谋,刘静,田延娟主编

· — 上海:上海交通大学出版社,2022.6

ISBN 978-7-313-25660-7

I. ①无… II. ①林… ②刘… ③田… III. ①无线电通信—传感器—计算机网络—教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 226077 号

无线传感网络技术

WUXIAN CHUANGAN WANGLUO JISHU

主 编:林志谋 刘 静 田延娟

出版发行:上海交通大学出版社

地 址:上海市番禺路 951 号

邮政编码:200030

电 话:021-64071208

印 制:大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司

经 销:全国新华书店

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:19.75

字 数:487 千字

版 次:2022 年 6 月第 1 版

印 次:2022 年 6 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-313-25660-7

定 价:58.00 元

版权所有 侵权必究

告读者:如您发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0316-8836866

前言

《无线传感网络技术》旨在全面系统地阐述当前各种主流的无线传感网络的基本原理,结合多种无线传感网络开发模块深入浅出地讲解无线传感网络的基本技术。本书在内容上力求反映国内外技术的最新进展,在讲述方法上注重理论与实践、原理与应用相结合,采用以项目为导向、任务驱动等编写方法,旨在培养学生 CC2530 基本组件应用, BasicRF 无线通信应用, ZigBee 协议栈应用与组网, 蓝牙 4.0 无线通信应用, WiFi 无线通信应用, NB-IoT 通信应用开发, LoRa 通信应用开发, 电路分析、测试、制作、调试等方面的能力及创新意识, 提升学生的职业能力和职业素养。

本书共 8 个项目, 分别为“认识无线传感网络”“CC2530 基本组件应用”“BasicRF 无线通信”“ZigBee 协议栈应用与组网”“蓝牙 4.0 无线通信应用”“WiFi 无线通信应用”“NB-IoT 通信应用开发”“LoRa 通信应用开发”。项目主要是基于 NEWLab 平台开发的, 每个项目都有相应的企业案例, 将实际项目的设计和理论知识串联起来; 理论知识在符合工作岗位职业技能要求的同时, 也符合学生的认知规律, 做到由浅入深、由易到难、由简到繁、循序渐进。本书采用“知识链接”的方式, 将项目实施过程中需要了解和掌握的无线通信技术知识、传感器技术知识、元器件知识穿插到不同的任务中去, 以保证整个项目知识结构的相对完整, 方便学生学习。本书每个项目的后面都附有习题, 便于学生复习巩固和加深拓展。

本书由厦门海洋职业技术学院林志谋、山东理工职业学院刘静、山东电子职业技术学院田延娟担任主编, 厦门海洋职业技术学院林扬武、山东理工职业学院张力和邢燕、山东电子职业技术学院郭军、厦门海洋职业技术学院张会奇和曾胜财担任副主编。具体编写分工如下: 项目一由刘静编写, 项目二由张力编写, 项目三由邢燕编写, 项目四由田延娟编写, 项目五由郭军编写, 项目六由林扬武编写, 项目七由林志谋和曾胜财编写, 项目八由林志谋和张会奇编写。本书还得到北京新大陆时代教育科技有限公司相关人员的大力支持和帮助, 在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限, 书中难免存在不妥之处, 恳请广大读者批评指正。

编者

项目一 1	认识无线传感网络 1
	任务一 IEEE 802.15.4 无线传感网络通信标准 1
	任务二 搭建 ZigBee 开发环境..... 21
	习题一 42
项目二 2	CC2530 基本组件应用 46
	任务一 控制 LED 交替闪烁 46
	任务二 按键中断控制 LED 亮灭 52
	任务三 定时器 1 控制 LED 闪烁 63
	任务四 串口通信应用 69
	任务五 片内温度测量 77
习题二 84	
项目三 3	BasicRF 无线通信 89
	任务一 BasicRF 开关 LED 灯 89
	任务二 串口通信 99
	任务三 模拟量传感器采集 108
	任务四 开关量传感器采集 120
	任务五 数字量传感器采集 124
	任务六 传感器组网..... 130
习题三 135	

项目四

4

ZigBee 协议栈应用与组网	139
任务一 基于 Z-Stack 的点对点通信	139
任务二 基于 Z-Stack 的串口通信	146
任务三 基于 Z-Stack 的串口透传	152
任务四 基于绑定的无线开关系统	154
习题四	158

项目五

5

蓝牙 4.0 无线通信应用	160
任务一 基于 BLE 协议栈的串口通信	160
任务二 主、从机建立连接与数据传输	167
任务三 基于 BLE 协议栈的无线点灯	172
任务四 基于 BLE 协议栈的串口透传	178
任务五 智能手机与蓝牙模块的通信	185
习题五	190

项目六

6

WiFi 无线通信应用	192
任务一 配置 Soft-AP 工作模式	192
任务二 配置 Station 工作模式	208
任务三 配置 Soft-AP+Station 工作模式	215
任务四 WiFi 接入云平台	226
习题六	243

项目七

7

NB-IoT 通信应用开发	245
任务一 光照强度数据采集	245
任务二 连接 NB-IoT 网络	254
任务三 接入云平台	264
习题七	274

项目八

8

LoRa 通信应用开发 276

 任务一 温湿度传感器节点数据采集 276

 任务二 光敏传感器节点数据采集 289

 任务三 传感器数据汇聚到网关节点 295

 习题八 306

参考文献 308



项目一 认识无线传感网络

项目分析

无线传感网络(wireless sensor network, WSN)是一种全新的信息获取和处理技术,集机电技术、传感器技术和无线通信技术于一体,实现了数据采集、处理和传输三种功能。由于无线传感网络技术具有低功耗、低成本、分布式和自组织的特点,被广泛应用于工业、农业、军事、医疗方面。无线传感网络的发展给信息感知带来了意义重大的变革。

本项目使用 NEWLab 实训平台,以“点亮开发板上的 LED 灯”为应用案例,介绍 ZigBee 开发环境的搭建方法和流程。本项目包括两个任务,任务一介绍无线传感网络技术及 ZigBee 无线传感网络通信标准,任务二介绍 ZigBee 开发环境的搭建与设置,并将生成的“.hex”文件烧写到 CC2530(无线片上系统单片机)开发板模块中,查看实验的完成效果。



任务一 IEEE 802.15.4 无线传感网络通信标准

一、任务要求

1. 任务描述

初步认识无线传感网络,了解 WiFi(wireless fidelity)、蓝牙、ZigBee 等典型短距离无线网络通信技术及其应用领域,了解 ZigBee 无线传感网络通信标准,熟悉 NEWLab 实训平台和相关传感器模块。

2. 设备列表

- (1)实验平台 1 套。
- (2)ZigBee 模块 1 个。
- (3)SmartRF 仿真/下载器 1 个。

二、知识链接

1. 认识无线传感网络

1) 无线传感网络概述

无线传感网络是一种全新的信息获取和处理技术,集机电技术、传感器技术和无线通信技术于一体,而无线通信技术是无线传感网络的支撑技术之一。

无线传感网络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,能够通过各种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实时监测、感知和采集,通过无线方式发送这些信息,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、计算世界及人类社会的连通。

(1)无线传感网络的产生。无线传感器网络(简称无线传感网络)的研究起源于20世纪70年代,是一种特殊的无线网络,最早应用于美国军方,如空中预警控制系统。这种原始的传感器网络只能捕获单一信号,传感器节点之间只能进行简单的点对点通信。

(2)无线传感网络的定义。进入21世纪后,随着无线通信技术、计算机技术和传感器技术的发展,人们对无线传感网络有了更明确的定义。无线传感网络是大量静止或移动的传感器以自组织和多跳的方式构成的无线网络,是随着微机电系统(micro-electro-mechanical system, MEMS)、片上系统(system on chip, SoC)、无线通信和低功耗嵌入式技术的飞速发展而出现的一种新的信息获取和处理模式。其目的是协作地感知、采集和处理传输网络覆盖地理区域内感知对象的监测信息,并报告给用户。

在这个定义中,无线传感网络实现了数据采集、处理和传输三种功能,对应着现代三大基础信息技术,即传感器技术、计算机技术和通信技术。由于无线传感网络技术具有低功耗、低成本、分布式和自组织的特点,被广泛应用于工业、农业、军事、医疗方面。无线传感网络的发展无疑给信息感知带来了意义重大的变革。

(3)无线传感网络的发展。从发展过程来看,无线传感网络的发展可以划分为如下四个阶段:

第一代传感网络是将传统的传感器采用点对点传输、连接传感控制器而构成的。

第二代传感网络在第一代传感网络的基础上增加了获取多种信息信号的综合处理能力,并通过与传感控制器相连,组成了具有信息综合处理能力的传感器网络。

第三代传感网络是指基于现场总线的智能传感网络。现场总线是连接智能化现场设备和控制室之间的全数字、开放式的双向通信网络。现场总线技术的发展最终促使现场总线控制系统取代第二代传感网络。

进入21世纪,微机电系统技术、低功耗的模拟和数字电路技术、低能耗的无线射频技术的发展使得开发小体积、低成本、低功耗的微传感器成为可能,将成千上万个体积小、重量轻的传感器协同工作,就构成了第四代无线传感网络。

2) 无线传感网络的特点

(1)与现有无线网络的区别。目前,无线网络可以分为两种:一种是有基础设施的网络,

此类网络需要有固定的基站；另一种是无基础设施的网络，又称无线自组织网络(Ad Hoc network)。

前一种网络比较常见，如移动、联通和电信网络，需要高大天线和大功率基站的支持，常见的有基础设施的网络为无线宽带网，包括 GSM、CDMA、3G、Beyond3G、4G、WLAN (WiFi)和 WMAN(WiMAX)等，这些网络都有固定的基站，网络的规划、部署、配置、管理、维护和运营一般需要管理员来完成。

无线自组织网络的特点是分布式的，没有专门的固定基站，但能够快速、灵活和方便地组网。无线传感网络和 Ad Hoc 网络作为快捷灵活的组网方式，基本不需要人的干预，大部分工作是以自组织的方式完成的，因此可以将它们统称为自组织网络。虽然无线传感网络和 Ad Hoc 网络存在相似之处，但是也存在很大差别。这些差别主要集中在以下两个方面：

①Ad Hoc。节点数量为几十个到上百个，大多数节点是移动的。拓扑结构是动态变化的。任意节点之间可进行以传输为目的的通信。

②WSN。节点数目庞大，可以达到成千上万个，大多数节点固定不动。拓扑结构是相对静态的。终端节点之间不能通信，以数据为中心。

(2)无线传感网络具有的特点。

①大规模网络。为了获取精确信息，在监测区域通常部署大量传感器节点，传感器节点数量可能达到成千上万甚至更多。传感器网络的“大规模”包含两层含义：传感器节点分布地理区域大。例如，原始森林采用无线传感器网络进行森林防火和环境监测；传感器节点部署密集，在面积不是很大的空间内部署大量的传感器节点。

②自组织网络。在传感器网络应用中，通常情况下放置传感器节点的环境中并没有基础网络结构，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。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测数据的多跳无线网络系统。

在传感器节点网络使用过程中，部分传感器节点由于能量耗尽或环境因素造成失效，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，这样在传感器网络中的节点个数就动态地增减，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动态性网络。传感器网络的拓扑结构可能因为下列因素而发生改变：

- a. 环境因素或电能耗尽造成传感器节点出现故障或失效。
- b. 环境条件变化可能造成无线通信链路带宽变化，时断时通。
- c. 传感器网络的传感器、感知对象和观察者这三个要素都可能具有移动性。
- d. 新节点的加入。这要求无线传感网络要能够适应这种变化，具有动态系统的可重构性。

④可靠网络。传感器网络特别适合部署在恶劣环境或人类不宜到达的区域。传感器节点可能工作在露天环境中，被破坏的可能性极大，并且传感器节点往往采用随机部署，如通过飞机随机散播，这就要求传感器节点非常坚固，不易损坏，能适应各种恶劣的环境条件。由于监测区域环境的限制以及传感器节点数目巨大，传感器网络的维护十分困难，甚至难以

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监测信息,因此,传感器网络的软硬件必须具有鲁棒性(稳定性或可靠性)和容错性。

⑤应用相关网络。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,不同的传感器感知不同的物理量,多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。硬件平台、软件系统和网络协议也会有很大差别。在开发传感器网络应用中,要关心传感器网络的差异,让系统贴近应用才能开发出高效的目标系统。针对每一个具体应用来研究传感器网络技术,这是传感器网络不同于传统网络的显著特征。

⑥以数据为中心。传感器网络是任务型网络,脱离传感器网络谈论传感器节点没有任何意义。由于传感器网络节点随机部署,构成传感器网络与节点编号之间的关系完全是动态的,与节点位置没有必然的联系。用户使用传感器网络查询事件时直接将事件通告给网络,而不是通告给某个确定编号的节点(将数据广播到整个网络中),网络在指定时间内将数据汇报给用户。由此可以看出,无线传感器网络是以数据本身作为查询或传输线索的,所以通常说传感器网络是一个以数据为中心的网络。

(3)典型短距离无线通信技术。

WiFi 是一种可以将个人计算机、手持设备(如平板电脑、手机)等终端以无线方式互连接的技术,改善基于 IEEE 802.11 标准的无线网络产品之间的互通性,很多人把使用 IEEE 802.11 系列协议的局域网就称为 WiFi。

蓝牙(blueetooth)工作在 2.4 GHz 频段,最早是爱立信公司在 1994 年开始研究的一种能使手机与其附件(如耳机)之间相互通信的无线模块,采用 FHSS 扩频方式,蓝牙信道带宽为 1 MHz,异步非对称连接最高数据速率为 723.2 Kb/s,连接距离一般小于 10 m。

ZigBee 主要用于近距离无线连接,它有自己的无线电标准,由数千个微小的传感器之间相互协调实现通信。这些传感器只需要很少的能量,就能以接力的方式通过无线电波将数据从一个传感器传到另一个传感器,所以它们之间的通信效率非常高。

3)无线传感网络的体系结构

(1)网络结构。无线传感网络由分布在监测区域内的大量无线传感器节点、具有接收和发射功能的汇聚节点、互联网或通信卫星和任务管理节点构成。无线传感网络的体系结构如图 1-1-1 所示。

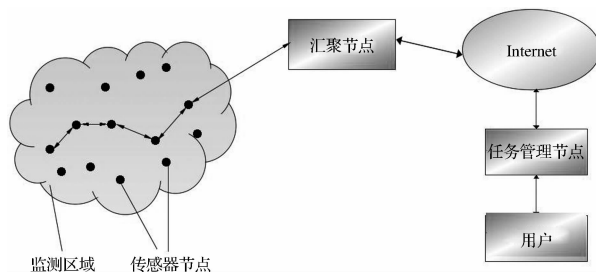


图 1-1-1 无线传感网络的体系结构

各节点作用如下：

①传感器节点的作用。传感器节点用于监测数据，监测的数据沿着传感器节点逐跳地进行传输。

②汇聚节点的作用。汇聚节点用于连接传感器网络、互联网和通信卫星等外部网络，各方面能力相对于传感器节点较强，可实现几种通信协议之间的转换；同时发布管理节点的监测任务，并把收集的数据转发到外部网络。汇聚节点可以是一个具有增强功能的传感器节点(如协调器)，有足够的能量和更多的内存与计算资源，也可以是没有监测功能仅带有无线通信接口的特殊网关设备。

③任务管理节点的作用。任务管理节点直接面向用户，汇聚节点通过外部网络将传感器节点采集的数据传递给任务管理节点，用户就可以管理数据，并发布监测信息。

(2)节点结构。传感器节点负责监测区域内数据的采集和处理，一般的传感器节点由四部分构成：能量供应模块、传感器模块、处理器模块和无线通信模块。传感器节点的结构如图 1-1-2 所示。

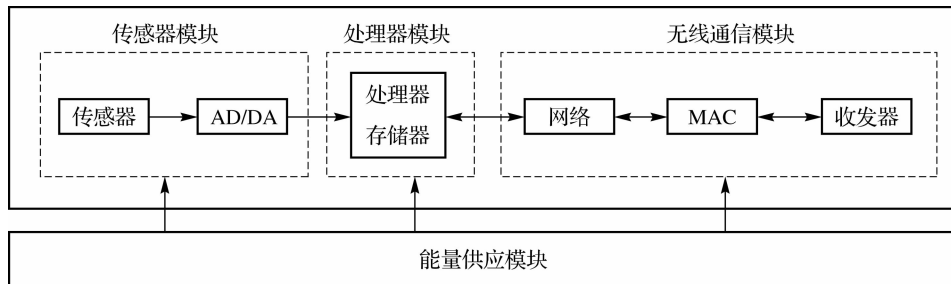


图 1-1-2 传感器节点的结构

传感器节点各组成部分的作用如下：

①能量供应模块为传感器节点的其他模块提供运行所需的能量，可以采取多种灵活的供电方式，通常采用微型电池。

②传感器模块包括传感器和模数/数模(AD/DA)。传感器负责监测区域内信息的采集，在不同的环境中，被监测物理信号的形式决定了传感器的类型。AD/DA 负责数据的转换。

③处理器模块包括处理器和存储器，负责控制整个节点的操作、存储和处理本身采集的数据以及其他节点转发来的数据。处理器模块通常采用通用的嵌入式处理器。

④无线通信模块负责与其他节点进行无线通信、交换控制信息和收发采集数据。数据传输的能耗占节点总能耗的绝大部分，所以通常采用短距离、低功耗的无线通信模块。

(3)协议栈。随着对无线传感器网络的深入研究，研究人员提出了多个无线传感器网络的协议栈。早期提出的协议栈包括物理(physical, PHY)层、数据链路层、网络层、传输层和应用层，与互联网协议栈的五层协议相对应。另外，无线传感器网络的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，如图 1-1-3 所示。

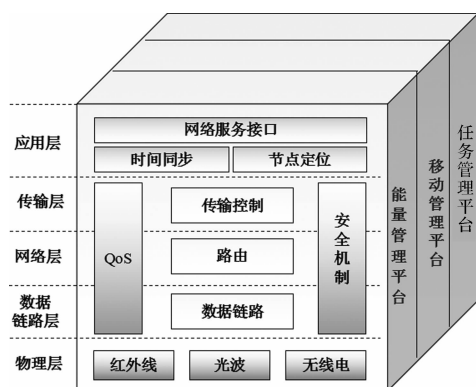


图 1-1-3 无线传感器网络的协议栈

各层的功能如下：

①物理层负责载波频率的产生，信号的调制、解调和无线收发技术，规定了工作频段、工作温度、数据调制、信道编码、定时、同步等标准。为了确保能量的有效利用，保持网络生存时间的平滑性能，物理层与介质访问控制（medium access control, MAC）子层应密切相关使用。

②数据链路层负责数据成帧、帧校验、媒体接入和差错控制。它保证了无线传感器网络中点到点或一点到多点的可靠连接。

③网络层负责路由的发现与维护，使得传感器节点可以进行有效的数据通信。大量的传感器节点散布在监测区域，需要设计一套路由协议供采集数据的传感器节点和基站节点之间的通信使用。

④传输层负责数据流的传输控制，保证通信服务的质量。传输层提供无线传感器网络内部以数据为基础的寻址方式变换为外部网络的寻址方式，也就是完成数据格式的转换。当传感器网络需要与其他类型的网络连接（如基站节点与任务管理节点之间的连接）时，就可以采用传统的 TCP 或 UDP 协议。

⑤应用层根据不同应用的具体要求，负责任务调度、数据分发等具体业务。

⑥能量管理平台负责管理传感器节点如何使用能源，在各个协议层都需要节省能源。

⑦移动管理平台负责监测并传输传感器节点的移动信息，维护到汇聚节点的路由，使得传感器节点能动态跟踪邻居节点的位置。

⑧任务管理平台负责平衡和调度监测任务。因为并不是所有节点都要参与监测活动中，在有些情况下，剩余能量较高的节点要承担多一点的感知任务，这时需要任务管理平台负责分配与协调各个节点任务量的大小，有了这些管理平台的帮助，节点可以以较低的能耗进行工作，可以利用移动的节点来转发数据，可以在节点之间共享资源。

4) 无线传感网络的关键技术

无线传感网络在基础服务领域包括传感器节点管理、数据存储与访问、数据融合技术、时间同步技术、定位技术等。

(1)传感器节点管理。传感器节点管理已经成为现阶段无线传感网络研究的核心内容之一,而节点管理的重心则是在保证无线传感网络应用需求的前提下实现节点能量利用率最大化。

目前针对无线传感网络节点的管理机制主要包括节点的休眠/唤醒机制和节点的功率管理机制两个方面。

(2)数据存储与访问。无线传感网络中的数据存储与访问技术主要研究在网络中存储传感器节点产生的感知数据,包括如何将数据存储在网络中适当的位置以及查询请求如何路由到无线传感网络上所需要数据的存储位置。这实际上是一个信息中介的过程。

信息中介指的是无线传感网络中的传感器节点把采集到的感知数据按照一定的存储策略存储在网络上某个特定的位置,而其他传感器节点或基站根据数据访问请求按照相应的访问策略路由到相关数据的存储位置,然后将满足数据访问请求的结果反馈给用户。

(3)数据融合技术。数据融合也称为信息融合,是一种多源信息处理技术,它通过对来自同一目标的多源数据进行优化合成,获得比单一信息源更精确、更完整的估计或判决,消除噪声与干扰,实现对观测目标的连续跟踪和测量等一系列问题的处理方法。

以数据为中心的无线传感网络要求数据在从源节点经过多个中间节点转发到汇聚节点的过程中,中间节点要根据数据的内容通过一定的算法对来自邻近多个传感器节点的数据及自身数据进行融合操作,去除其中的冗余信息,只保留有意义的的结果并传输给汇聚节点。

通过数据融合技术将冗余的、无效的和可信度较差的数据删除,提高数据的准确性,减少无线传感网络中数据量及通信量的传输需求,减少数据冲突,降低网络拥塞,从而有效地降低能量消耗,延长网络的寿命。

当前,WSN中的数据融合主要有两种方式:一种是节点把原始数据传送到基站,在基站进行数据融合;另一种是融合节点(aggregator)先在本地收集周边节点的信息进行融合,然后传送给基站进行最终的数据融合,融合节点可以多重级联。其中,后一种数据融合机制通常与路由协议相联系,以减少网络中的通信负载,但是会使安全问题更加复杂。所以需要结合安全路由协议的研究以及密钥管理问题的研究,以进行带有网内数据融合的安全的数据融合方法的研究。

(4)时间同步技术。由于传感器节点的物理位置是分散的,不同的节点都有自己的本地时钟,网络无法为所有的传感器节点提供统一的全局时钟。由于不同节点本地时钟的晶振频率存在偏差、运行环境不同,即使在某一时刻所有的传感器节点达到同步,随着运行时间的增加,这些传感器节点本地时钟之间也会慢慢产生差异。时间同步就是通过对传感器节点本地时钟采取某些操作,为分布式系统提供一个统一的时间标度。

时间同步技术是无线传感网络中的一项重要技术,也是其他协议可靠运行的保证。由于无线传感网络对于时钟的准确度和精确性要求较高,再加上能量的制约,传统网络中时间同步算法已经无法满足无线传感网络性能的要求。

典型的时间同步算法主要可以分为三类:基于发送者-接收者的双向同步算法,典型算法如 TPSN;基于发送者-接收者的单向时间同步算法,典型算法如 FTSP、DMTS;基于接收

者-接收者的同步算法,典型算法有 RBS。

(5)定位技术。无线传感网络在信息获取和处理技术方面的突破,使其在目标跟踪、入侵监测及一些定位相关领域的应用前景广阔。然而无论是在军事侦察或地理环境监测,还是交通路况监测或医疗卫生中对患者的跟踪等应用场合,很多获取的监测信息需要与位置信息相对应,因此,获取传感器节点的位置信息是无线传感网络领域大多数应用的基础。

WSN 中的定位技术可以从以下不同角度分类:

①基于测距(range-based)的定位技术和不基于测距(range-free)的定位技术。

a. 基于测距的定位技术需要测量相邻节点间的绝对距离或方位来计算未知节点的位置,包括信号强度测距法、到达时间差测距法、时间差定位法和到达角定位法等。该类技术需要通过设计算法来减小测距误差对定位的影响,包括多次测量、循环定位求精等。虽然此算法可以获得相对精确的定位结果,但是其计算和通信消耗较大,不适合 WSN 低功耗的特点。

b. 不基于测距的定位技术利用节点间的估计距离计算节点位置,包括质心定位算法、凸规划定位算法、基于距离矢量计算跳数的算法、无定形算法和以三角形内的点近似定位算法等。

不基于测距的技术虽然精度较低,但是对大多数应用已经足够,因为其拥有低造价、低功耗的显著优势,所以在 WSN 中备受关注。

②基于锚节点的定位技术和无锚节点的定位技术。基于锚节点的定位技术在定位过程中,以锚节点作为参考点,各节点定位后产生整体的绝对坐标系。无锚节点的定位技术只关心节点间的相对位置,在定位过程中各节点先以自身作为参考点,将邻近的节点纳入自己定义的坐标系中,相邻的坐标系依次转换合并,最后产生整体相对坐标系。

③粗粒度定位技术和细粒度定位技术。细粒度定位技术计算所需的信息包括信号强度、时间等,而基于跳数和与锚节点的接近度来度量的,则是粗粒度定位技术。

2. IEEE 802. 15. 4 无线传感网络通信标准

1) IEEE 802. 15. 4 无线传感网络通信标准概述

传感器网络中的应用一般并不需要很高的信道带宽,却要求具有较低的传输延时和极低的功率消耗,使用户能在有限的电池寿命内完成任务。IEEE 802. 15. 4 标准把低功耗、低成本作为主要目标,为无线传感网络提供了一种互联互通的平台,各个射频芯片厂商也陆续推出支持该标准的无线收发芯片。

IEEE 802 系列标准是 IEEE 802 LAN/MAN 标准委员会制定的局域网、城域网技术标准。1998 年,IEEE 802. 15 工作组成立,专门从事无线个人局域网(wireless personal area network, WPAN)的标准化工作。在 IEEE 802. 15 工作组内有 5 个任务组,分别制定适合不同应用的标准。这些标准在传输速率、功耗和支持的服务等方面存在差异,如表 1-1-1 所示。

表 1-1-1 IEEE 802.15 协议标准

任 务 组	标 准 名 称	研 究 内 容	适 用 范 围
TG1	IEEE 802.15.1	蓝牙无线通信标准	适用于手机、平板电脑等设备的中 等速率、短距离通信
TG2	IEEE 802.15.2	IEEE 802.15.1 标准与 IEEE 802.11 标准的共存	
TG3	IEEE 802.15.3	超宽带(ultra wide band,UWB) 标准	适用于个人局域网中多媒体方面高 速率、近距离通信的应用
TG4	IEEE 802.15.4	低速无线个人局域网(LR-WPAN)	把低能量消耗、低速率传输、低成本 作为重点目标,旨在为个人或家庭 范围内不同设备之间的低速互连提 供统一标准
TG5	IEEE 802.15.5	无线个人局域网(WPAN)的无 线网状网络(mesh network, MESH)组网	提供 MESH 组网的 WPAN 的物理 层与 MAC 层的必要机制

IEEE 802.15.4 通信协议是短距离无线通信的 IEEE 标准,它是无线传感网络通信协议中物理层与 MAC 层的一个具体实现。

IEEE 802.15.4 标准,即 IEEE 用于低速无线个人局域网(LR-WPAN)的物理层和媒体接入控制层规范。该协议支持两种网络拓扑,即单跳星型拓扑和当通信线路超过 10 m 时的多跳对等拓扑。LR-WPAN 中的器件既可以使用在关联过程中指配的 16 位短地址,也可以使用 64 位 IEEE 地址。一个 802.15.4 网可以容纳最多 216 个器件。

(1) IEEE 802.15.4 标准的特点。

- ①实现 20 Kb/s、40 Kb/s、100 Kb/s、250 Kb/s 四种不同的传输速率。
- ②支持星型和对等两种拓扑结构。
- ③在网络中采取两种地址方式:16 位地址和 64 位地址。其中,16 位地址是由协调器分配的,64 位地址是全球唯一的扩展地址。
- ④采用可选的时隙保障(guaranteed time slot,GTS)机制。
- ⑤采用带冲突避免的载波侦听多路访问/冲突避免(carrier sense multiple access with collision avoidance,CSMA/CA)的信道访问机制。
- ⑥支持 ACK 机制以保证可靠传输。
- ⑦低功耗机制。
- ⑧信道能量检测(energy detection,ED)。
- ⑨链路质量指示(link quality indication,LQI)。
- ⑩工作在 ISM 频段上,其中在 2 450 MHz 波段上有 16 个信道,在 915 MHz 波段上有 30 个信道,在 868 MHz 上有 3 个信道。
- ⑪数据安全策略。

(2) IEEE 802.15.4 协议簇。

① IEEE 802.15.4a: 物理层为超宽带的低功耗无线个域网技术。提供无线通信和高精确定位的定位功能; 高总吞吐量、低功率、数据速率的可测量性、更大的传输范围、更低的功耗、更低廉的价格等。

② IEEE 802.15.4b: 低速家用无线网络技术。致力于为 IEEE 802.15.4—2003 标准制定相关加强和解释。

③ IEEE 802.15.4c: 中国特定频段的低速无线个域网技术。对 IEEE 802.15.4—2006 物理层进行修订。

④ IEEE 802.15.4d: 日本特定频段的低速无线个域网技术。定义一个新的物理层和对 MAC 层的必要修改以支持在日本新分配的频率。

⑤ IEEE 802.15.4e: MAC 层增强的低速无线个域网技术。提高和增加 IEEE 802.15.4—2006 的 MAC 层。

⑥ IEEE 802.15.4f: 主动式 RFID 系统网络为主动式射频标签 RFID 系统的双向通信和定位等应用定义新的无线物理层; 同时对 IEEE 802.15.4—2006 的 MAC 层进行增强以使其支持该物理层。

⑦ IEEE 802.15.4g: 无线智能基础设施网络技术。建立 IEEE 802.15.4 物理层的修正案, 提供一个全球标准以满足超大范围内的过程控制应用需求。

⑧ IEEE 802.15.4k: 低功耗关键设备监控网络 (LECOM), 主要应用于大范围内的关键设备, 减少基础设施的投入。

2) 拓扑结构

(1) 设备分类。IEEE 802.15.4 中将设备分为全功能设备 (full function device, FFD) 和简化功能设备 (reduced function device, RFD) 两类。FFD 设备可提供全部 MAC 服务, 可充当任何 ZigBee 节点, 不仅可以发送和接收数据, 还具有路由功能, 因此可以接收子节点; RFD 设备只提供部分 MAC 服务, 只能充当终端节点, 不能充当协调器和路由节点, 它只负责将采集的数据信息发送给协调器和路由节点, 并不具备路由功能, 因此不能接收子节点, 并且 RFD 之间的通信必须通过 FFD 才能完成。另外, RFD 仅需要使用较小的存储空间, 这样就可以非常容易地组建一个低成本和低功耗的无线通信网络。

(2) 节点类型角色。IEEE 802.15.4 网络中的节点分为以下三种角色:

① PAN 协调器 (PAN Coordinator)。成员身份管理、链路信息管理、分组转发。

② 协调器 (Coordinator)。与 RFD 相关联的 FFD 设备。

③ 终端设备。

FFD 能够在网络中承担普通设备、协调器 (或路由器) 和 PAN 协调器三种角色。RFD 在网络中只能承担普通设备一种角色。

(3) 拓扑结构。IEEE 802.15.4 网络支持星型拓扑和对等拓扑结构。拓扑结构图如图 1-1-4 和图 1-1-5 所示。

星型拓扑结构由 PAN 主协调器和多个从设备组成, 主协调器必须为一个具有完整功能的全功能设备, 从设备既可为全功能设备也可为简化功能设备。网络协调器持续供电, 其他

设备电池供电适合家庭自动化、个人计算机外围设备、个人康护等小范围的室内应用。

在对等拓扑结构中,同样存在一个 PAN 主设备。任何一个设备只要是在它的通信范围之内,就可以和其他设备进行通信。对等拓扑结构能够构成较为复杂的网络结构,如网状拓扑网络结构。在工业监测和控制、无线传感网络、供应物资跟踪、农业智能化以及安全监控等方面都有广泛的应用。

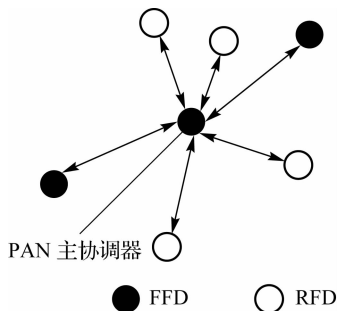


图 1-1-4 星型拓扑结构图

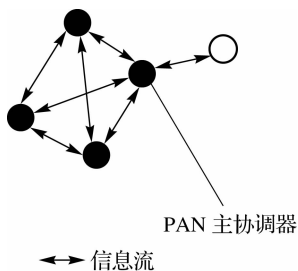


图 1-1-5 对等拓扑结构图

三、任务实施

1. 认识 NEWLab 实训平台

北京新大陆时代教育科技有限公司研制的 NEWLab 实训平台具有 8 个通用实训模块插槽,支持单个实训模块实验或最多 8 个实训模块联动实验。该实训平台内集成通信、供电、测量等功能,为实训提供环境保障和支撑,还内置了一块标准尺寸的面包板及独立电源用于电路搭建实训。该实训平台可完成无线通信技术、传感器技术、数据采集、无线传感器网络等课程的实训。NEWLab 实训平台如图 1-1-6 所示。

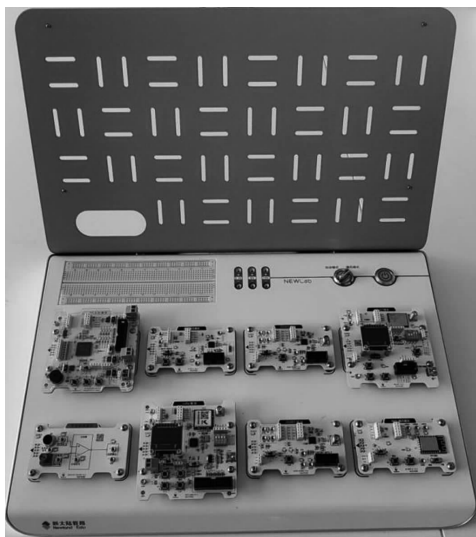


图 1-1-6 NEWLab 实训平台

1) 无线通信模块

无线通信模块包括 ZigBee 模块(见图 1-1-7)、WiFi 通信模块(见图 1-1-8)、NB-IoT 模块(见图 1-1-9)、M3 主控模块(见图 1-1-10)、蓝牙通信模块(见图 1-1-11)、LoRa 模块(见图 1-1-12)、继电器模块(见图 1-1-13)和物联网网关(见图 1-1-14)。

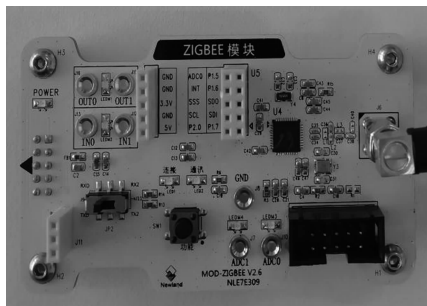


图 1-1-7 ZigBee 模块

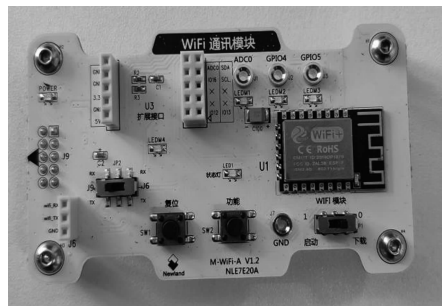


图 1-1-8 WiFi 通信模块

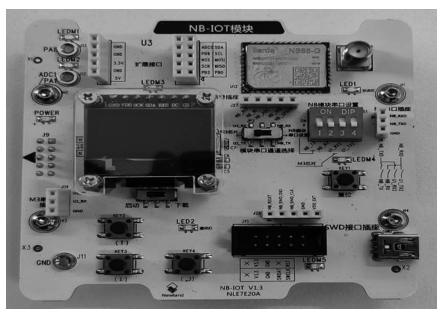


图 1-1-9 NB-IoT 模块

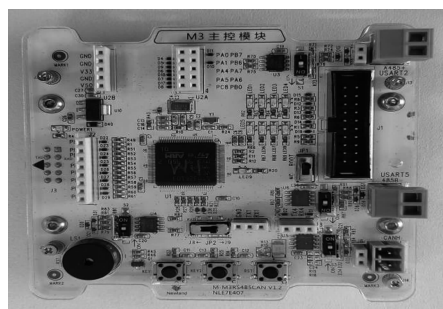


图 1-1-10 M3 主控模块

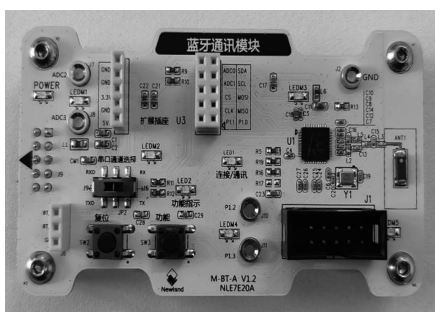


图 1-1-11 蓝牙通信模块

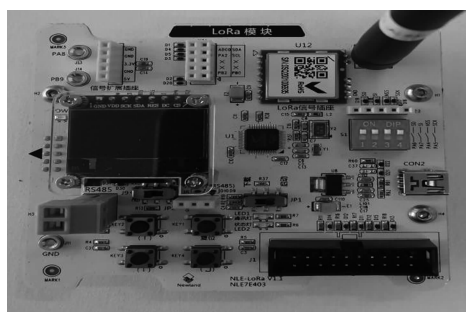


图 1-1-12 LoRa 模块

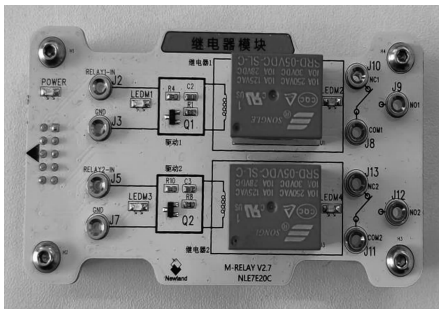


图 1-1-13 继电器模块



图 1-1-14 物联网网关

2) 传感器模块

传感器模块包括红外传感模块(见图 1-1-15)、声音传感器模块(见图 1-1-16)、气体传感器模块(见图 1-1-17)、霍尔传感模块(见图 1-1-18)、称重传感模块(见图 1-1-19)、温度/光照传感模块(见图 1-1-20)等。

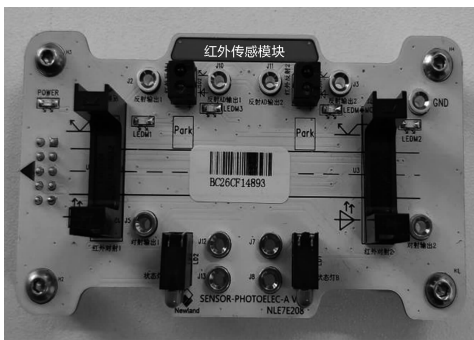


图 1-1-15 红外传感模块

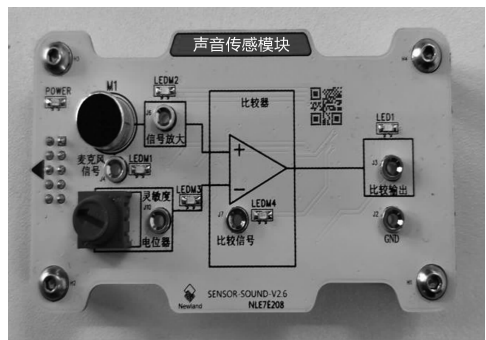


图 1-1-16 声音传感模块

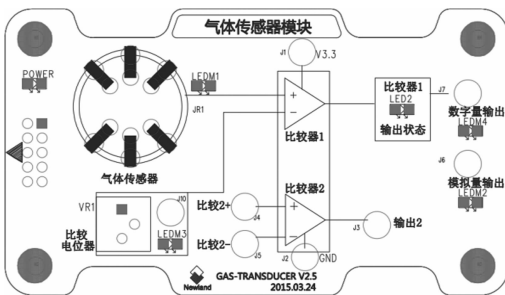


图 1-1-17 气体传感器模块

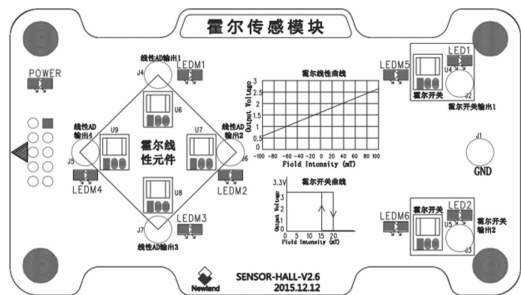


图 1-1-18 霍尔传感模块

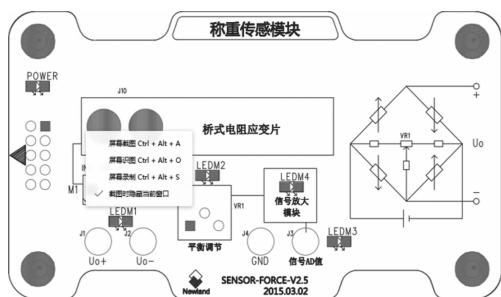


图 1-1-19 称重传感模块

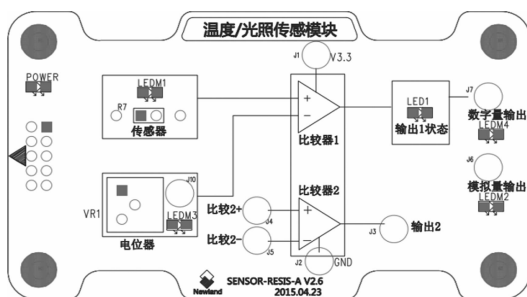


图 1-1-20 温度/光照传感模块

2. 任务分析

认识无线通信模块和传感器模块,了解各模块的功能,熟练掌握各模块的安装方法。

3. NEWLab 实训平台结构组成

认识 NEWLab 实训平台结构组成。NEWLab 平台底板接口如图 1-1-21 和图 1-1-22 所示。

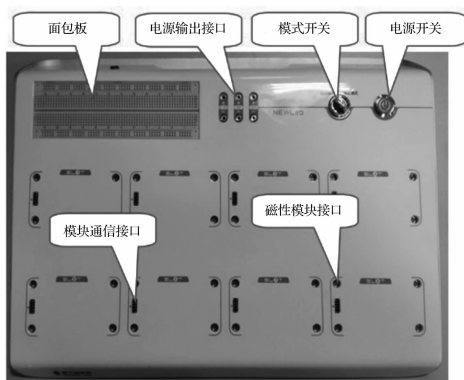


图 1-1-21 NEWLab 平台底板正面接口

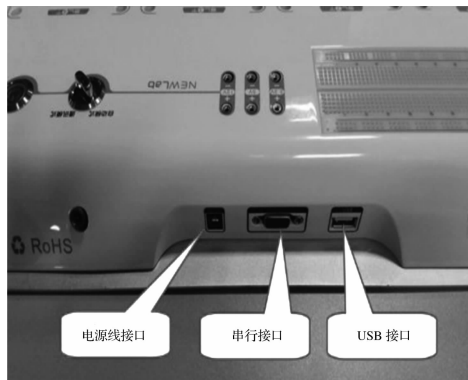


图 1-1-22 NEWLab 平台底板反面接口

(1)电源开关。

(2)模式开关。支持自动模式和通信模式两种。在进行硬件连接板检测时,全部使用的是自动模式;在场景模拟实验中,针对不同实验进行选择。一般情况下,传感器的实验使用的是自动模式,嵌入式的实验使用的是通信模式。

(3)电源输出接口。电源输出接口能提供 3 个电压等级的独立电源,可以为外部设备供电,独立电源额定电流为 DC 3.3 V 1 000 mA、DC 5 V 1 000 mA、DC 12 V 1 000 mA。

(4)面包板。面包板是为电子电路的无焊接实验设计制造的。各种电子元器件可根据需要随意插入或拔出,免去了焊接,节省了电路的组装时间,而且元件可以重复使用,因此适合电子电路的组装、调试和训练。

(5)磁性模块接口。底板与模块的连接方式采用磁性吸合方式,拆装方便。

(6)模块通信接口。模块通信接口为各类实验模块提供电源和通信通道。

(7)电源线接口。电源线接口连接 12 V 的电源线。

(8)串行接口。串行接口通过串口线与计算机或移动互联终端相连。连接计算机,可进行 PC 端平台的实验;连接移动互联终端,可进行 Android 端平台的实验。

(9)USB 接口。为以后扩展使用。

四、技能拓展

了解 IEEE 802.15.4 网络协议栈的结构及特点,对后续项目的进一步学习非常重要。重点包括协议栈的层次划分、数据传输模型以及帧的类型和结构组成等知识点的内容。

IEEE 802.15.4 网络协议栈基于开放系统互连参考模型(open system interconnection reference model,OSI/RM),每一层都实现一部分通信功能,并向高层提供服务。IEEE 802.15.4 标准只定义了 PHY 层和数据链路层的 MAC 子层。PHY 层由射频收发器以及底层的控制模块构成。MAC 子层为高层访问物理信道提供点到点通信的服务接口。特定服务的聚合子层(service-specific convergence sublayer,SSCS)为 IEEE 802.15.4 的 MAC 层接入 IEEE 802.2 标准中定义的逻辑链路控制子层(logical link control sublayer,LLC)提供聚合服务,LLC 为应用层提供链路层服务。IEEE 802.15.4 标准协议栈如图 1-1-23 所示。

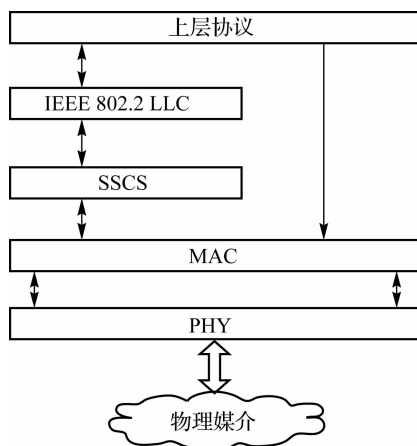


图 1-1-23 IEEE 802.15.4 标准协议栈

1. 网络形成与维护

1) 信道扫描

PAN 的建立、运行、管理和维护都需要在特定的物理信道上运行。MAC 层的协议上层可以从节点所支持的信道中指定需要扫描的信道列表。用户可以根据需要选择合适的信道扫描类型。

(1)ED 信道扫描。MAC 层丢弃所有物理层数据服务传来的帧信息。

(2)主动信道扫描。全功能设备使用主动扫描。

(3)被动信道扫描。设备在接入 PAN 之前使用被动信道扫描。在被动扫描过程中,MAC 层丢弃所有物理层数据服务接收的非信标帧。

(4)孤点信道扫描。根据协调器是否搜索到存在该设备的记录执行命令。

2) PAN 标识符冲突检测

协调器检测到 PAN 标识符冲突后,首先执行主动扫描,然后利用扫描所得到的信息选择新的 PAN 标识符。最后协调器广播包含新 PAN 标识符的协调器重新连接命令。

3) IEEE 802.15.4 个域网启动

启动后,MAC 层将设置物理层的 phyCurrentChannel 属性中的逻辑信道和 MAC 层的 macPANID 属性中的 PAN 标识符。

4) 设备的连接和断开

未连接设备向 PAN 协调器发送连接请求命令来初始化连接过程。如果连接的设备要离开 PAN,将给协调器发送断开通告命令。

2. 物理层

在 OSI 参考模型中,物理层处于最底层,是保障信号传输的功能层,因此物理层涉及与信号传输有关的各个方面,包括信号发生、传送与接收电路,数据信号的传输编码、同步与异步传输等。物理层的主要功能是在一条物理传输媒体上实现数据链路实体之间透明地传输各种数据的比特流。它为链路层提供的服务包括物理连接的建立、维持与释放,物理服务数据单元的传输,物理层管理,数据编码。物理层结构模型如图 1-1-24 所示。

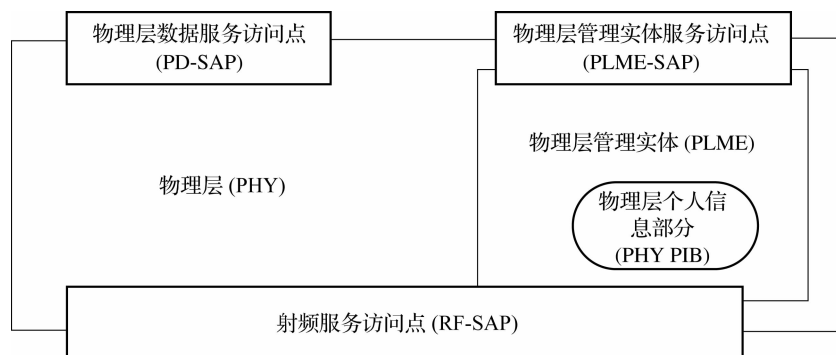


图 1-1-24 物理层结构模型

物理层提供了介质接入控制 (MAC) 层与无线物理信道之间的接口。提供物理层数据服务和物理层管理服务。数据服务是指从无线物理信道上收发数据,管理服务维护一个由物理层相关数据组成的数据库。

物理层管理实体 (PHY layer management entity, PLME) 提供调用层管理功能的层管理服务接口。PLME 也负责处理有关 PHY 层的数据库。PHY 层经两个服务访问点 (service accesspoint, SAP) 提供服务:访问 PD-SAP (PHY Data-SAP) 的 PHY 数据服务和访问 PLME-SAP 的 PHY 管理服务。

1) 载波调制

PHY 层定义了 3 个载波频段用于收发数据。这 3 个频段在发送数据使用的速率、信号处理过程以及调制方式等方面存在一些差异。3 个频段总共提供 27 个信道,其中,868 MHz 频段 1 个信道,915 MHz 频段 10 个信道,2.4 GHz 频段 16 个信道。其具体分配见表 1-1-2。

在 868 MHz 和 915 MHz 两个频段上,信号处理过程相同,只是数据速率不同。信号处理过程如图 1-1-25 所示。

表 1-1-2 频段与信道分配表

PHY/MHz	频段/MHz	序列扩频参数		数据参数		
		片速率 $/(kchip \cdot s^{-1})$	调制方式	比特速率 $/(kbit \cdot s^{-1})$	符号速率 $/(ksymbol \cdot s^{-1})$	符号/symbol
868	868~868.6	300	BPSK	20	20	二进制
915	902~928	600	BPSK	40	40	二进制
2 450	2 400~2 483.5	2 000	O-QPSK	250	62.5	十六进制

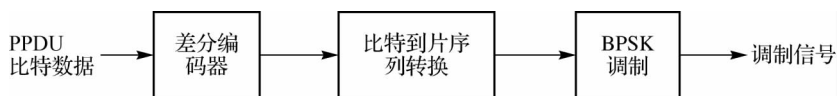


图 1-1-25 868 MHz 和 915 MHz 两个频段的信号处理过程

2.4 GHz 频段的信号处理过程如图 1-1-26 所示。

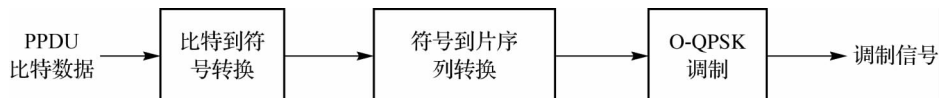


图 1-1-26 2.4 GHz 频段的信号处理过程

2) 帧结构

PHY 层的帧结构如图 1-1-27 所示。

4 B	1 B	1 B		长度可变
前导码	SFD	帧长度 (7 bit)	保留位	PSDU
同步头		物理帧头		PHY 负载

图 1-1-27 PHY 层的帧结构

前导码 (32 bits): 用于实现同步。

帧起始分隔符(start of frame delimiter, SFD)(8 bits): 用于标识一个物理帧的开始, 该字节固定为 11100101。

物理层头部(8 bits): 包括帧长度域(7 bits)和 1 bit 的预留域, 用于标识物理层负载(PSDU)的长度, 最大不超过 127 B。

PSDU (0~127 B): 物理层实际所携带的负载数据。

物理层数据服务包括以下五方面的功能:

- (1) 激活和休眠射频收发器。
- (2) 信道能量检测(ED)。
- (3) 检测接收数据包的链路质量指示(LQI)。
- (4) 空闲信道评估(clear channel assessment, CCA)。
- (5) 收发数据。

3. MAC 层

MAC 子层提供两种服务:MAC 层数据服务和 MAC 层管理服务。前者保证 MAC 协议数据单元在物理层数据服务中的正确收发,后者维护一个存储 MAC 子层协议状态相关信息的数据库。MAC 子层的参考模型如图 1-1-28 所示。

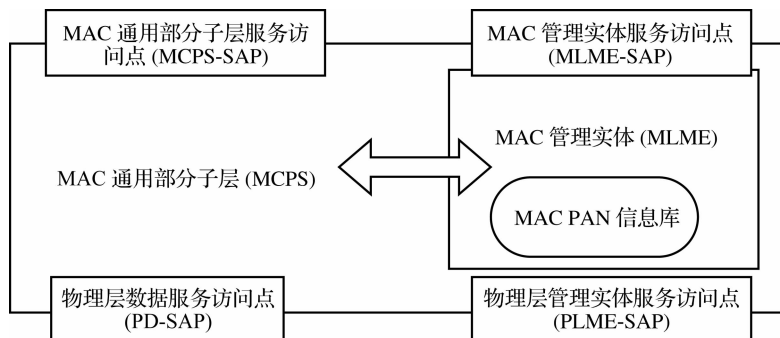


图 1-1-28 MAC 子层的参考模型

1) MAC 层功能

MAC 层具有以下功能:

- (1) 协调器产生并发送信标帧,普通设备根据协调器的信标帧与协调器同步。
- (2) 支持 PAN 网络的关联和取消关联操作。
- (3) 支持无线信道通信安全。
- (4) 使用 CSMA/CA 信道访问机制。
- (5) 支持时隙保障(GTS)机制。
- (6) 支持不同设备的 MAC 层间的可靠传输。

2) 数据传输模型

WPAN 网络中存在着三种数据传输方式:设备发送数据给协调器、协调器发送数据给设备和对等设备之间的数据传输。星型拓扑网络中只存在前两种数据传输方式,因为数据只在协调器和设备之间交换;而在点对点拓扑网络中,三种数据传输方式都存在。

在 WPAN 网络中,有两种通信模式可供选择:信标使能模式 (beacon-enabled) 和信标不使能模式 (non beacon-enabled)。

(1) 设备发送数据到协调器。在信标使能的网络中,PAN 网络协调器定时广播信标帧。PAN 网络中的设备都通过协调器发送的信标帧进行同步。设备之间通信使用基于时隙的 CSMA/CA 信道访问机制,如图 1-1-29 所示。

在信标不使能的网络中,PAN 网络协调器不发送信标帧,各个设备之间通信使用非时隙的 CSMA/CA 信道访问机制,如图 1-1-30 所示。

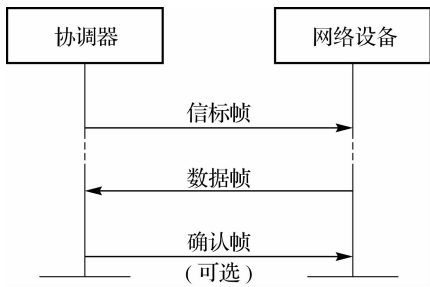


图 1-1-29 在信标使能的网络中
设备发送数据到协调器

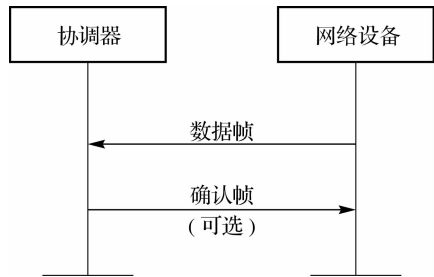


图 1-1-30 在信标不使能的网络中
设备发送数据到协调器

(2)协调器发送数据到设备。在信标使能的网络中,当协调器需要向某个设备发送数据时,就在下一个信标帧中说明协调器拥有属于某个设备的数据正在等待发送。

目标设备在周期性的侦听过程中会接收到这个信标帧,从而得知有属于自己的数据保存在协调器中,这时就会向协调器发送请求传送数据的 MAC 命令。然后协调器将数据发送给该设备,设备收到后回复 ACK 确认帧,如图 1-1-31 所示。

在信标不使能的网络中,协调器只是为相关的设备存储数据,被动地等待设备来请求数据,数据帧和命令帧的传送都使用非时隙的 CSMA/CA 机制。设备可根据应用程序事先定义好的时间间隔,周期性地向协调器发送请求数据的 MAC 命令帧,查询协调器是否存有属于自己的数据。如果有属于该设备的数据,则传送数据帧;如果没有数据,则发送一个 0 长度的数据帧给设备,表示没有属于该设备的数据,如图 1-1-32 所示。

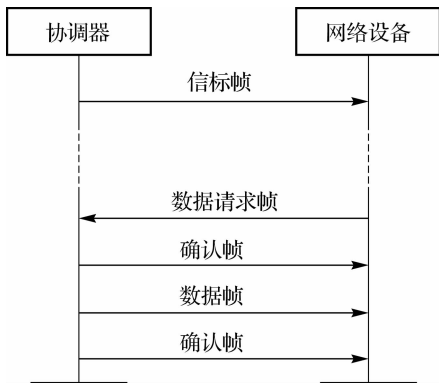


图 1-1-31 在信标使能的网络中
协调器发送数据到设备

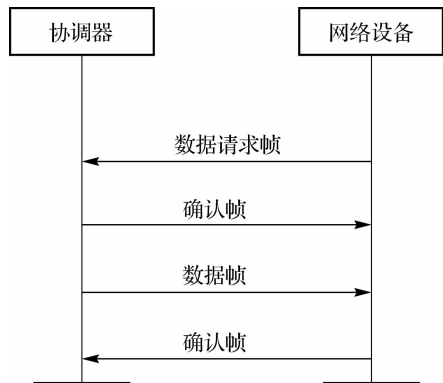


图 1-1-32 在信标不使能的网络中
协调器发送数据到设备

(3)帧结构。每个 MAC 层的帧都由帧头(MAC header, MHR)、负载和帧尾(MAC footer, MFR)三部分组成,如图 1-1-33 所示。帧头由帧控制信息、帧序列号、地址信息和安全头组成。MAC 层负载具有可变长度,具体内容由帧类型决定。帧尾是帧头和负载数据的 16 位 CRC 校验序列。物理层能携带的最大数据包为 127 B。

字节数: 2	1	0/2	0/2/8	0/2	0/2/8	0/5/6/10/14	可变	2
帧控制信息	帧序列号	目的设备 PAN 标识符	目标地址	源设备 PAN 标识符	源设备地址	安全头	帧数据单元	FCS 校验
		地址信息						
帧头							负载	帧尾

图 1-1-33 帧 结 构

MAC 层定义了四种类型的帧:信标帧由协调器发出;数据帧用于数据信息的传输;确认帧用于确认数据正确被接收到;命令帧用于实现 MAC 层的管理。

信标帧结构如图 1-1-34 所示。

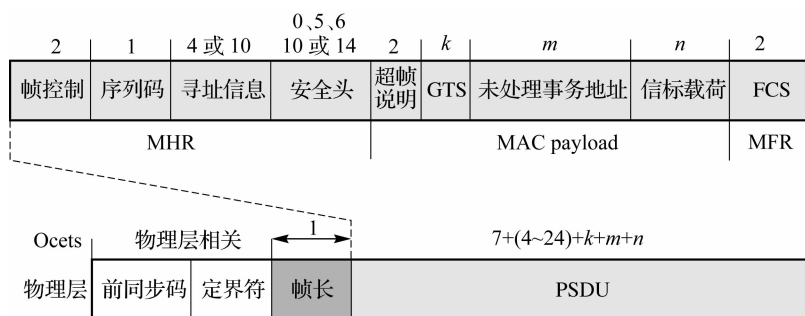


图 1-1-34 信 标 帧

数据帧结构如图 1-1-35 所示。

Ocets:2	1	4/20	0/5/6/10/14	可变	2
帧控制域	帧序列号	地址域	附加安全头部	数据帧负载	FCS 校验
帧头				负载	帧尾

图 1-1-35 数 据 帧

确认帧结构如图 1-1-36 所示。

Ocets:2	1	2
帧控制域	帧序列号	FCS 校验
帧头		帧尾

图 1-1-36 确 认 帧

命令帧结构如图 1-1-37 所示。

Ocets:2	1	4/20	0/5/6/10/14	1	可变	2
帧控制域	帧序列号	地址域	附加安全头部	命令帧 ID	命令帧负载	FCS 校验
帧头				负载		帧尾

图 1-1-37 命令帧

任务二 搭建 ZigBee 开发环境

一、任务要求

1. 任务描述

本任务要求安装并熟练使用 IAR 与 SmartRF Flash Programmer 软件,建立 ZigBee 开发环境,创建工程并将生成的“.hex”文件烧写到 CC2530 开发板模块中,在 NEWLab 实训平台完成点亮 LED 灯的任务。

2. 设备列表

- (1)NEWLab 实验平台 1 套。
- (2)ZigBee 模块 1 个。
- (3)SmartRF 仿真/下载器 1 个。

二、知识链接

1. CC2530 射频模块

1)CC2530 射频模块概述

CC2530 是用于 IEEE 802.15.4、ZigBee 和 RF4CE 应用的一个真正的片上系统(SoC)。它能够以非常低的总材料成本建立强大的网络节点。

CC2530 结合了领先的 2.4 GHz 的 RF 收发器的优良性能,是业界标准的增强型 8051 单片机,具有系统内可编程闪存,8 KB RAM 和许多其他强大的功能。根据芯片内置闪存的不同容量,CC2530 有四种不同的型号:CC2530F32/64/128/256,编号后缀代表具有 32/64/128/256 KB 的闪存。CC2530 具有不同的运行模式,尤其适应超低功耗要求的系统。运行模式之间的转换时间短,进一步确保了低能源消耗。

CC2530 单片机内部结构框图如图 1-2-1 所示。

从功能方面来划分,大致可以分为四个部分。其中,A 画线框表示与时钟和电源管理相关的模块;B 画线框表示与 8051 CPU 核心和存储器相关的模块;C 画线框表示与无线收发相关的模块。其余部分是 CC2530 单片机的其他外设模块。

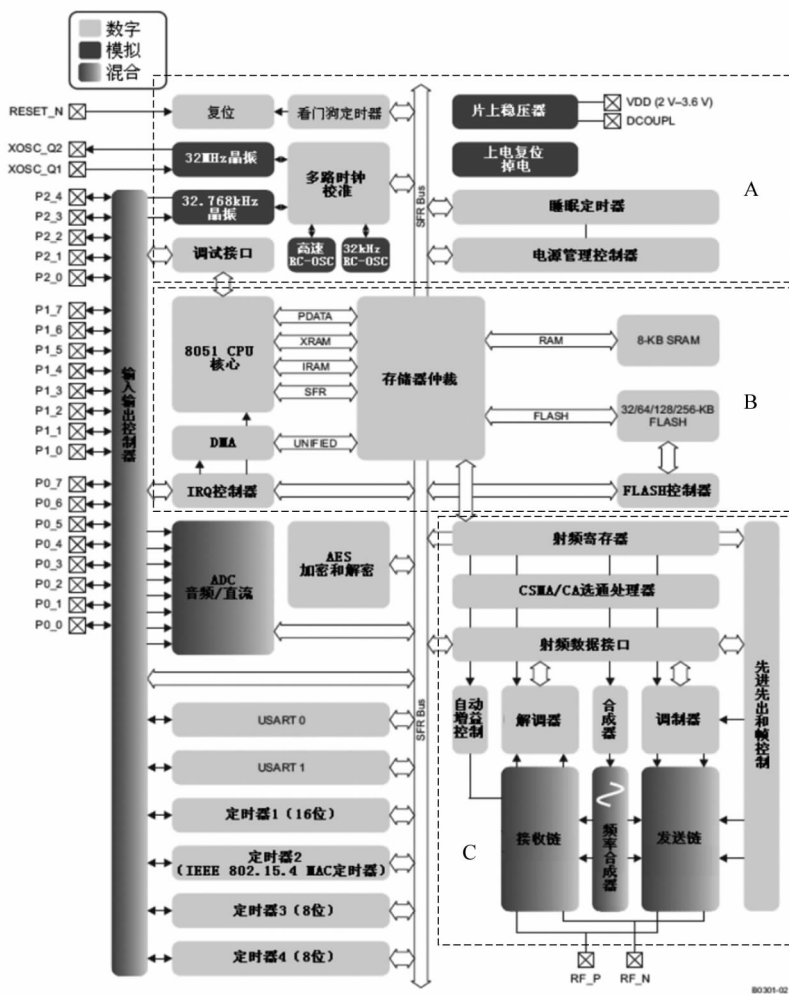


图 1-2-1 CC2530 单片机内部结构框图

从信号处理方面来划分,图中浅色部分表示该部分用来处理数字信号,深色表示该部分处理模拟信号,数字信号和模拟信号都处理的部分使用过渡色表示。

2) 外设

调试接口执行一个专有的两线串行接口,用于内电路调试。通过这个调试接口,可以执行整个闪存存储器的擦除、控制使能振荡器、停止和开始执行用户程序、执行 8051 内核提供的指令、设置代码断点,以及控制内核中全部指令的单步调试。使用这些技术,可以很好地执行内电路的调试和外部闪存的编程。

(1) I/O 引脚。I/O 控制器负责控制所有通用 I/O 引脚。CPU 可以配置外设模块是否控制某个引脚或它们是否受软件控制。每个引脚可以被配置为输入或输出。CPU 中断可以分别在每个引脚上使能。每个连接到 I/O 引脚的外设可以选择两个不同的 I/O 引脚位置,以确保在不同应用程序中引脚的使用不发生冲突。

(2)DMA 控制器。系统可以使用一个多功能的五通道 DMA 控制器,使用 XDATA 存储空间访问存储器,因此能够访问所有物理存储器。每个通道(触发器、优先级、传输模式、寻址模式、源指针与目标指针和传输计数)用 DMA 描述符在存储器任何位置进行配置。许多硬件外设(AES 内核、闪存控制器、USART、定时器、ADC 接口)通过使用 DMA 控制器在 SFR 或 XREG 地址和闪存/SRAM 之间进行数据传输,在获得高效率操作的同时,大大减轻了内核的负担。

(3)定时器。定时器 1 是一个 16 位定时器,具有定时器/脉冲宽度调制(pulse width modulation,PWM)功能。它有一个可编程的分频器、一个 16 位周期值和 5 个各自可编程的计数器/捕获通道,每个都有一个 16 位比较值。每个计数器/捕获通道可以用作一个 PWM 输出或捕获输入信号边沿的时序。

MAC 定时器(定时器 2)是专门为支持 IEEE 802.15.4 MAC 提供一般的计时功能。定时器有一个可配置的定时器周期和一个 8 位溢出计数器,可以用于保持跟踪已经经过的周期数。一个 16 位捕获寄存器也用于记录收到/发送一个帧开始界定符的精确时间,或传输结束的精确时间,一个 16 位输出比较寄存器可以在具体时间产生不同的选通命令(开始 RX、开始 TX 等)到无线模块。

定时器 3 和定时器 4 是 8 位定时器,具有定时器/计数器/PWM 功能。它们有一个可编程的分频器、一个可编程的计数器通道和一个 8 位比较值。定时器 3 和定时器 4 计数器通道经常用作输出 PWM。

睡眠定时器是一个超低功耗的定时器,在除了供电模式 3 的所有工作模式下不断运行。睡眠定时器的典型应用是作为实时计数器,或作为一个唤醒定时器跳出供电模式 1 或 2。

(4)ADC。ADC 支持 7~12 位的分辨率,分别在 30 kHz 和 4 kHz 的带宽。DC 和音频转换可以使用 8 个输入通道。输入可以选择作为单端输入或差分输入。参考电压可以是内部电压、VDD 或是一个单端或差分外部信号。ADC 有一个温度传感输入通道来测量内部温度。ADC 可以自动执行定期抽样或转换通道序列的程序。

(5)随机数发生器。随机数发生器使用一个 16 位线性反馈移位寄存器(linear feedback shift register, LFSR)来产生伪随机数,可以被 CPU 读取或由选通命令处理器直接使用。例如,随机数可以用于产生随机密钥。AES 加密/解密内核允许用户使用带有 128 位密钥的 AES 算法加密和解密数据。这一内核能够支持 IEEE 802.15.4 MAC 安全、ZigBee 网络层和应用层要求的 AES 操作。

(6)看门狗。一个内置的看门狗允许 CC2530 在固件挂起的情况下复位自身。当看门狗由软件使能时,它必须定期清除;否则,超时就复位它及复位设备。同时,看门狗也可以配置为一个通用 32 kHz 定时器。

(7)无线设备。CC2530 具有一个与 IEEE 802.15.4 标准兼容的无线收发器。RF 内核控制无线射频模块。CC2530 提供了微控制单元(micro control unit,MCU)与无线设备之间的一个接口,可以发出命令、读取状态、自动操作和确定无线设备事件的顺序。无线设备还包括一个数据包过滤和地址识别模块。

3) CC2530 芯片的主要特性

CC2530 芯片的主要特性如下:

- (1) 具有高性能、低功耗且代码预取功能的 8051 微控制器内核。
- (2) 具有符合 2.4 GHz IEEE 802.15.4 标准的优良的无线接收灵敏度和抗干扰性能的 2.4G RF 收发器。
- (3) 低功耗。
- (4) 宽电源电压范围(2~3.6 V)。
- (5) 支持硬件调试。
- (6) 支持精确的数字化 RSSI/LQI 和强大的 5 通道 DMA。
- (7) 具有 IEEE 802.15.4 MAC 定时器,通用定时器。
- (8) 具有捕获功能的 32 kHz 睡眠定时器。
- (9) 硬件支持 CSMA/CA 功能。
- (10) 具有电池监测功能和温度传感功能。
- (11) 有 8 路输入和可配置分辨率的 12 位 ADC。
- (12) 集成 AES 安全协处理器。
- (13) 2 个支持多种串行通信协议的强大 USART。
- (14) 21 个通用 I/O 引脚(19×4 mA, 2×20 mA)。
- (15) 具有看门狗定时器。

2. 调试器接口

SmartRF04EB 是德州仪器(Texas Instruments, TI)公司发布的第四版 CC 系列芯片调试器,可用于 CC11xx、CC243x、CC251x、CC253x 等多个系列芯片,支持仿真、调试、单步、烧录、加密等操作,可与 IAR 编译环境(如 IAR730B、IAR751、IAR760、IAR810 等)和 TI 发布的相关软件进行无缝连接,进行在线编程与仿真。

SmartRF04EB 支持 SmartRF Studio、SmartRF Flash Programmer、IEEE Address Programmer 和 Packet Sniffer 工具软件。

SmartRF04EB 的使用环境为 Windows 7(32 位和 64 位)、Windows 8(32 位和 64 位)、Windows 10(32 位和 64 位)等。

3. IAR Embedded Workbench for 8051 简介

IAR Embedded Workbench 是瑞典 IAR Systems 公司为微处理器开发的一个集成开发环境,支持 ARM、AVR、MSP430 等芯片内核平台。

IAR Systems 公司是嵌入式系统开发工具和服务的供应商,成立于 1983 年,提供的产品包括带有 C/C++ 编译器和调试器的集成开发环境(integrated development environment, IDE)、实时操作系统和中间件、开发套件、硬件仿真器以及状态机建模工具。IAR 是著名的 C 编译器,支持众多知名半导体公司的微处理器,许多全球著名的公司都在使用该开发工具来开发前沿产品。

IAR 根据支持的微处理器种类不同可分为许多不同的版本,由于 CC2530 使用的是 8051 内核,需要选用 IAR Embedded Workbench for 8051 版本。嵌入式 IAR Embedded

Workbench IDE 提供一个框架,任何可用的工具都可以完整地嵌入其中。嵌入式 IAR Embedded Workbench 适用于大量 8 位、16 位以及 32 位微处理器和微控制器,使用户在开发新的项目时能在所熟悉的开发环境中进行操作。

IAR Embedded Workbench 为用户提供了一个易学和具有大量代码继承能力的开发环境,它是一套高度精密且使用方便的嵌入式应用编程开发工具。该集成开发环境中包含了 IAR 的 C/C++ 编译器、汇编工具、链接器、库管理器、文本编辑器、工程管理器 and C-SPY 调试器。通过其内置的针对不同芯片的代码优化器,IAR Embedded Workbench 可以为 8051 系列芯片生成高效和可靠的 FLASH/PROMable 代码。

三、任务实施

(一)子任务一:为 CC2530 烧写程序

SmartRF Flash Programmer 是 TI 公司推出的一款功能强大的闪存编程器,可用于对基于 8051 的低功耗射频无线 MCU 中的闪存进行编程,还可用于升级相关评估板(SmartRF 评估板等)和调试器(CC 调试器等)上的固件和引导加载程序。

该软件支持 AMD、ARM7、ARM9、CPU32、MIPS、PowerPC、XScale 等系列 CPU,安装后就可以与芯片连接进行编译操作。

1. 安装烧写软件 SmartRF Flash Programmer

(1)运行 Setup_SmartRF Programmer_1.12.7 安装文件开始安装,如图 1-2-2 所示。在弹出的对话框中单击“Next”按钮,如图 1-2-3 所示。



图 1-2-2 开始安装



图 1-2-3 安装欢迎界面

(2)设置安装路径,可以采用默认方式,然后单击“Next”按钮,如图 1-2-4 所示。

(3)选择完全“Complete”安装后,单击“Next”按钮,如图 1-2-5 所示。

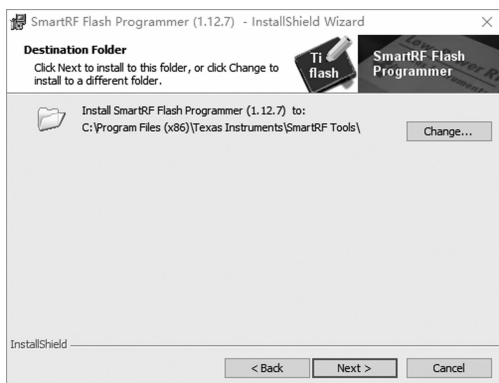


图 1-2-4 设置安装路径

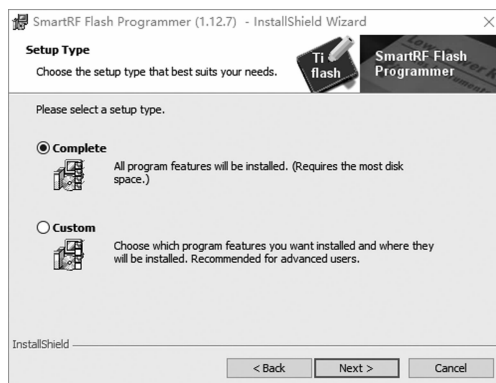


图 1-2-5 选择完全“Complete”安装

(4)在图 1-2-6 所示的界面中单击“Install”按钮,用户将看到安装进度提示,如图 1-2-7 所示。



图 1-2-6 单击“Install”按钮



图 1-2-7 安装进度提示

(5)安装完成后选择在桌面上放置快捷方式图标“Place shortcut on the desktop.”,单击“Finish”按钮,如图 1-2-8 所示。

(6)双击桌面上的快捷方式图标,打开图 1-2-9 所示的界面。



图 1-2-8 安装完成

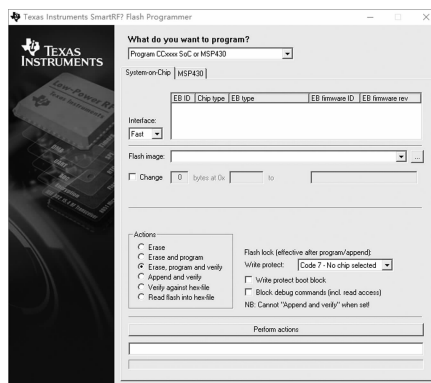


图 1-2-9 打开界面

注意:

安装 SmartRF Flash Programmer 闪存编程器必须具有管理员权限。对于 Windows 7, 启动安装程序时会出现“用户访问控制”对话框。如果用户具有管理员权限, 单击“是”按钮继续安装; 如果用户不具有管理员特权, 必须使用拥有这些权限的用户名和密码。

2. 认识 SmartRF Flash Programmer GUI 版本编程界面

(1) 图形用户界面(GUI)运行于两种不同的用户模式: 片上系统模块编程模式和评估板 MCU(MSP430)编程模式, 如图 1-2-10 所示。

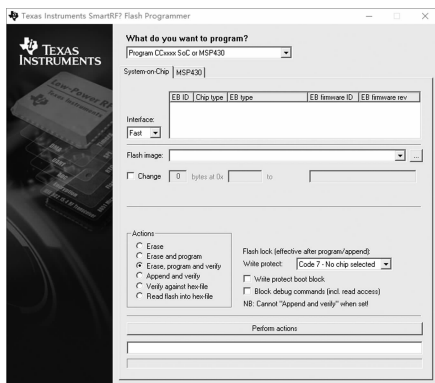


图 1-2-10 图形用户界面运行两种不同的用户模式

SmartRF Flash Programmer 有两个选项卡可供选择。其中, “System-on-Chip(片上系列)”选项卡用于编程 TI 公司的 SoC 芯片, 如 CC1110、CC2430、CC2530 等。

对于 IEEE 802.15.4 兼容设备(如 CC2530)和 Bluetooth@低能量设备(如 CC2540)来说, 闪存编程器可从其中读取和向其中写入 IEEE MAC 地址。

(2) 可通过 MSP-FET430UIF 对 MSP430 器件闪存和 eZ430 加密狗进行编程。

(3) 闪存编程器还可用于升级 SmartRF04EB、SmartRF05EB、CC Debugger 和 CC2430DB 上的固件。

(4) 设备列表区显示片上系统当前连接的所有设备。注意, 当切换到片上系统选项卡时, 不会显示未连接的 EM 系列片上系统的任何评估板。如果连接了多个芯片, 则此窗口中选中的芯片(标记为蓝色)就是要编程的芯片, 如图 1-2-11 所示。

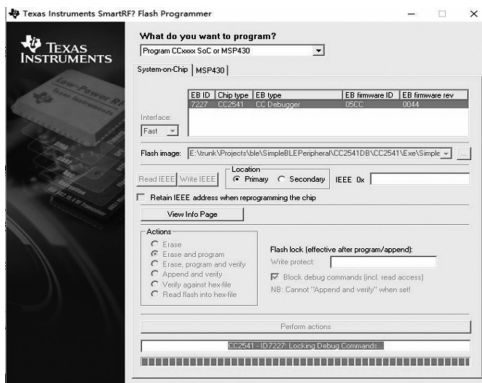


图 1-2-11 设备列表区显示片上系统当前连接的所有设备

3. 安装仿真器并使用闪存编程器 SmartRF Flash Programmer 进行程序烧写

1) 连接设备到计算机

进行烧写程序的工作,需要使用 CC Debugger 仿真设备。仿真设备除了可为 CC2530 单片机烧写程序外,还可以进行程序的在线调试。

将系统配套的 USB 接口仿真器 CC Debugger 一端与计算机相连,使用 10 线的排线与目标设备(CC2530 实验板)的调试接口相连。在与目标设备连接时,一定注意要让排线的 1 脚对应实验板上调试接口的 1 脚,即排线上的三角箭头要与实验板上的白色三角箭头对齐。调试接口与 CC2530 单片机的连接方式如图 1-2-12 所示。当需要设计应用系统时可参照此设计方式。

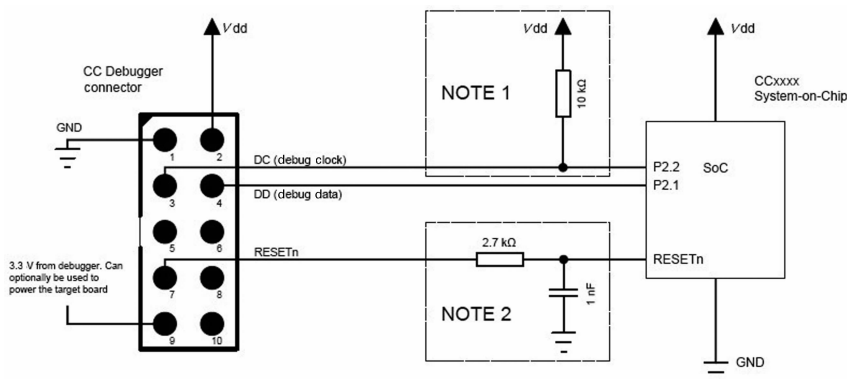


图 1-2-12 调试接口与 CC2530 单片机的连接方式

CC Debugger 的联合测试工作组(joint test action group, JTAG)控制引脚功能设置如图 1-2-13 所示。引脚的详细说明如表 1-2-1 所示。

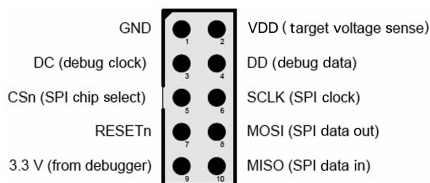


图 1-2-13 CC Debugger JTAG 控制引脚功能设置

表 1-2-1 引脚的详细说明

引脚序号	引脚名称	相关说明
1	GND	地线
2	VDD(target voltage sense)	目标板电源正端
3	DC(debug clock)	调试-时钟线
4	DD(debug data)	调试-数据线
5	CSn(SPI chip select)	下载-片选线(低电平有效)
6	SCLK(SPI clock)	下载-时钟线
7	RESETn	复位线