

## 摘 要

本文目标为实现一个基于 ZigBee 无线定位跟踪系统的设计,以 ZigBee 技术和无线定位技术为基础,进行系统硬件和软件的设计与开发。重点实现三个功能,一为节点间数据的传输,二为无线网络的自组织,三为网络覆盖范围内节点的定位。

文章在介绍了课题的内容和背景后,提出了系统的架构,即实现方式,包括芯片的对比与选择,硬件以及软件的实现方式。信息的采集方式上,引入了 USB 接口,除了 PC 机外,也可方便连接到具有 USB OTG 功能的手持设备上,极大地扩展了系统的应用范围。在软件方面,采用分层、模块化的实现方式,提高了软件的可移植性和软件管理的方便性。

在硬件的详细实现上,对比了当前市场上支持 IEEE802.15.4 协议的主流解决方案,从集成度、成本、软硬件资源以及兼容性上进行了全方面对比,最终选择 CC2430 和 CC2431 作为本系统的节点主控芯片。设计天线时,在分析了无线传感器网络所需天线特点的基础上,系统最终采用单极天线,并研究了单极天线的性能及优缺点。网关引入 USB 接口时采用 USB 从芯片 CY7C68013,并通过通用编程接口与节点主芯片通信。给出了 PCB 设计所要遵循的规则,最后说明了硬件系统的调试流程及方法。

在软件的详细实现上,从物理层、MAC 层、网络层、应用层四个层面分析了 ZigBee 无线传感器网络协议栈,以及 TI 的 ZigBee2006 编程框架的使用方法。分析了串口与 USB 通信的实现流程和编程方法,特别是 USB 接口,给出了应用程序给无线节点发送命令和数据的方法。最后进行了无线定位算法的分析与实现,介绍了无线定位的基本原理和当前世界上常用的定位算法,并详细说明了在 CC2431 的基础上实现基于 RSSI 的无线定位流程。

最后是总结与展望,任何技术都是不断向前发展的,本文所设计的系统在性能也有很多可以提高的地方,在硬件设备的功耗上、信道带宽上,定位的方法、精度和速度上,网络的架构形式上,接口的丰富程度上等。

**关键词:** ZigBee, 无线定位, USB, CC2431

## Abstract

The paper is to design and implement a wireless location and tracking system, in which hardware and software are all researched and designed, based on the technology of ZigBee and wireless location. Three points the system should be get, one is data transfer among node, second point is self-establishment of network, and the wireless location function overall the network.

After introduce the content and background of the paper, the architecture is brought forward, including comparing and selection of IC, implement method of hardware and software. In collecting information, USB port is introduced, beside PC, any portable device that have USB OTG function can be connected to the gate node, which greatly extend the scope of application. For software design, layered and module method is used, that makes the software easier to migrate and manage.

When come to detail implementation of hardware, after comparing most solutions in the market that support IEEE802.15.4, from integration, cost, source of hardware and software, as well as compatibility. Finally CC2430 and CC2431 are chosen as main node IC. Monopole antenna is used after analyzing the features of antenna needed by wireless sensor networks, and then analyzed the performance, advantages and disadvantages. Use CY7C68013 to support USB port, which communicates with node IC through GPIF. The rules are given when get PCB process, and finally introduce the flow and method of debugging hardware system.

When come to detail implementation of software, ZigBee protocol stack and usage of TI's ZigBee2006 program model are analyzed. UART and USB communication method and program interface are introduced, especially USB port, method of how to send data and command to wireless node is given. Then get the point of how to analyze and implement wireless location algorithm, introduce the foundation principle of location and common location algorithm, and the flow of location using CC2431.

Summary and prospect is the last item of the paper. Any technology is always

going forward, the performance of the system design in the paper can definitely be promoted, such as method of location, location precision and speed, as well as network architecture and diversity of communication port.

**Key words:** ZigBee, Wireless Location, USB, CC2431

## 独 创 性 声 明

本人声明,所呈交的论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知,除了文中特别加以标注和致谢的地方外,论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果,也不包含为获得武汉理工大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

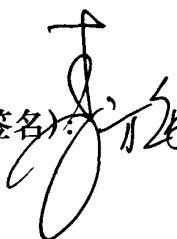
签 名: 张杰 日 期: 2010.5.18

## 学位论文使用授权书

本人完全了解武汉理工大学有关保留、使用学位论文的规定,即学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版,允许论文被查阅和借阅。本人授权武汉理工大学可以将本学位论文的全部内容编入有关数据库进行检索,可以采用影印、缩印或其他复制手段保存或汇编本学位论文。同时授权经武汉理工大学认可的国家有关机构或论文数据库使用或收录本学位论文,并向社会公众提供信息服务。

研究生 (签名): 张杰

导师 (签名):

 日 期 2010.5.18

# 第 1 章 引 言

## 1.1 目的、背景和意义

通过研究,了解无线传感器网络的架构,路由算法,定位算法,和通信协议。熟悉现有市场上无线传感器网络开发平台及开发资源,多重参考并进行优化,开发出符合要求的无线定位跟踪系统。

无线传感器网络在数字家庭、无线控制、无线定位、无线通信、无线组网以及移动连接等方面都有着巨大的应用前景。如无线定位,在大型停车场的汽车管理,幼儿园的孩童管理,监狱的犯人管理等,都有方便而潜力巨大的应用<sup>[1]</sup>。

无线传感器网络主要用来监测网络部署区域中各种环境参数,如温度,湿度,声强,压力,光照,物体的运动速度或加速度,化学物质的浓度等,不同的特性可能需要不同的传感器,但对这些传感数据在不知道具体位置信息的情况下,往往是没有意义的。也就是说,传感器节点的位置信息在无线传感器网络的诸多应该领域中扮演着十分重要的角色。无线传感器网络的许多应用场合诸如水文,火灾,潮汐,生态学研究,飞行器设计等课题中,采用无线传感器网络进行信息收集和处理,传感节点主要发回所处位置的物理信息数据,如温度,湿度,水位,风速,压力等,这些数据必须和位置信息相捆绑才有意义甚至有时需要传感器只是发回位置信息<sup>[2][3]</sup>。

传感器节点有可能是用飞机等工具随机地部署到监测区域中的,因此无法事先确定节点都部署后的位置,只能在部署完成后采用一定的定位方法进行定位。目前最广泛的定位系统当属全球定位系统(GPS),因此获得节点位置的是直接想法就是利用 GPS 来实现。但由于其在价格,功耗,适用范围以及体积等方面的制约使得很难完全应用于大规模无线传感器网络。此处无线传感器网络的室内应用中, GPS 会由于接收不到卫星信号而失效。特别是在战争环境下, GPS 卫星系统很可能被损坏,军方还可以局部区域内增加 GPS 干扰信号,使敌方利用 GPS 时定位精度严重降低,无法用于军事行动。此外,在机器人研究领域,也有不少关于定位的研究,但所提出的一些算法一般不用关心计算复杂度问题,同时也有相应的硬件设备支持,所以也不适合于无线传感器网络。

除此以外,节点位置信息还可以为其他协议层的设计提供帮助。在应用层上,节点位置信息对基于位置选择服务的应用不可或缺。在通过汇聚多个传感器节点的数据获得能量保护方面,位置信息也非常重要。在网络层,位置信息与传输距离的结合,使得基于地理位置的路由算法成为可能。研究表明,基于位置信息的路由策略能够更加有效地能过多跳在无线传感器网络中传播信息,这些典型协议包括 Niculescu 提出的 TBF 路由算法,He 提出的 SPEED 实时通信协议和 Xu 提出的能量有效路由方法。

由此,如何确实无线传感器网络中节点的位置信息称之为“节点定位”成为了必须解决的关键问题之一。所谓节点定位,即通过一定的技术,方法和手段获取无线传感器网络节点的绝对或相对的位置信息的过程。由于节点硬件配置低,能量、计算存储和通信能力有限,因此对节点定位提出了较大的挑战。

## 1.2 无线传感器网络研究现状

传感器网络的研究起源于 20 世纪 90 年代末期。最早开始启动传感器网络研究的是美国国防部和各军事部门,美国陆军在 2001 年就提出了“灵巧传感器网络通信”计划,近期又确立了“无人值守地面传感器群”项目,美国海军最近也确立了“传感器组网系统”研究项目。近年来,英特尔公司、微软公司等信息工业界巨头也开始了无线传感器网络方面的工作,将其列为新型的计算发展规划中。美国所有著名院校几乎都设立了研究小组从事传感器网络技术方面的研究,德国、加拿大、英国、芬兰和意大利等国家的研究机构也都逐渐投入到传感器网络的研究中。

国际上对传感器网络的研究虽然已取得一些初步性的成果,但仍然处于起步阶段。近年来,我国各研究机构也开始积极开展传感器网络方面的研究工作,取得了初步性的进展。

无线传感器网络以其获取信息精度高、部署灵活性强、可靠性高、经济性好等特点,在军事侦察、环境监测、工农业控制与监视、智能家居、复杂机械监控、交通管理、医疗卫生、机场的监测与管理、以及空间探索等诸多领域具有非常广阔的应用前景。它被列为 21 世纪最有影响的 21 项技术和改变世界的 10 大技术之一,并被称为全球未来的三大高科技产业之一。

无线传感器网络的核心支撑技术包括无线传感器网络的拓扑控制,节点定位,时间同步以及网内信息的处理。其中无线传感器网络的节点定位对无线传

传感器网络的影响尤为重大。目前对于通过物理测量获得节点之间距离或角度信息的定位算法，它的定位结果的精度在一定程度上依赖于物理测量本身的精度。几种常见的测量技术包括到达时间(TOA, Time of Arrival), 表达时间差(TDOA, Time Difference of Arrival), 到达角(AOA, Angle of Arrival), 接收信号强度指示(RSSI, Received Signal Strength Indication)等。

#### (1) 到达时间(TOA, Time of Arrival)。

在已知信号传播速度的前提下，根据信号在两个目标之间来回传播的时间就可以估计出发送者和接收都之间的距离。TOA 方法具有较高的测量精度，不过要求能够比较精度的获得发送都与接收都的响应和处理延迟，这种要求在距离较短时显得尤为重要。使用 TOA 技术最典型的定位系统是 GPS。由于节点的硬件尺寸、价格和功耗限制，使用 TOA 技术的定位方案不多。但随着超宽带技术的发展和其在无线传感器网络中的应用，使用 TOA 技术具有一定的前景。

#### (2) 表达时间差(TDOA, Time Difference of Arrival)。

发送同时发送两种不同的信号，一般采用射频信号和超声波信号，根据接收都接收到此两种信号的时间差，进而将其转化为距离。TDOA 的测量精度一般要优于 TOA，在无线传感器网的研究中使用的较多。但是它要求节点同时具备接收两种不同信号的能力，而且超声波的传播距离是非常有限的。

#### (3) 到达角(AOA, Angle of Arrival)。

利用阵列天线或多个超声波接收器，得到信号到达的多个方向。基于 ATA 的定位，最大的缺点是对硬件的要求较高，而且像阵列天线或多个接收器实现和维护的代价也相当高，外界环境以及非视线路径对其影响也较大。

#### (4) 接收信号强度指示(RSSI, Received Signal Strength Indication)。

这种方法是基于电磁波的发射和接收功率。发射功率是已知的，在接收端测量接收功率，计算传播损耗，使用经验或理念的信号传播模型将传播损耗转化为实际距离。这项技术主要使用 RF 信号，使用这种方法的优点是实现比较简单，成本较低，缺点是受环境温度，多径效应，NLOS 等因素的影响较大。

### 1.3 本文的研究内容

本文主题为基于 ZigBee 无线定位跟踪系统的设计与实现，包括硬件的设计与实现和软件的设计与实现。硬件设计包括硬件平台的架设，无线芯片的选择，网关芯片的选择，原理图设计及验证，PCB 设计等。软件设计包括无线传感器

网络中常用的定位方法研究，基于 ZigBee 的定位跟踪系统软件的架构，ZigBee 协议的分析等。本文将 USB 接口集成到系统中，系统节点可方便连接到 PC 机或者具有 USB OTG 接口的手持设备上，大大提高了系统了应用范围。

## 1.4 文章组织结构

本文在分析了 ZigBee 无线传感器理论的基础上，提出基于 ZigBee 无线定位跟踪系统的架构，根据架构设计符合要求的硬件和软件平台。

第一章为引言，介绍了无线传感器网络及定位方法的研究现状。对文章的背景意义及文章结构作了介绍。

第二章系统架构。包括硬件架构和软件架构。硬件架构包括硬件平台的架设，无线芯片的选择，网关芯片的选择，原理图及 PCB 设计。软件架构包括系统所使用的网络协议，无线定位算法，USB 通信等。

第三章硬件设计。给出了硬件实现的详细设计。天线的分析与实现。原理图设计和 PCB 设计。硬件系统调试流程和方法。

第四章软件设计。本章对节点的软件系统进行了详细设计。包括硬件抽象，ZigBee 协议栈的分析和实现，串口与 USB 接口的编程实现，和无线定位算法的分析和实现。

第五章为总结与展望。介绍了此系统在性能还可以改进的地方。

最后是结论。

## 第 2 章 定位跟踪系统的架构

### 2.1 系统架构提出

本文研究的系统为无线定位跟踪系统，系统实现的功能有：

- (1) 自组织网络。
- (2) 数据的传输。
- (3) 节点的定位。

根据系统功能可将系统划分为三种节点的组合，分别为：

- (1) 参考节点。
- (2) 移动节点。
- (3) 网关节点。

如图 2-1 所示

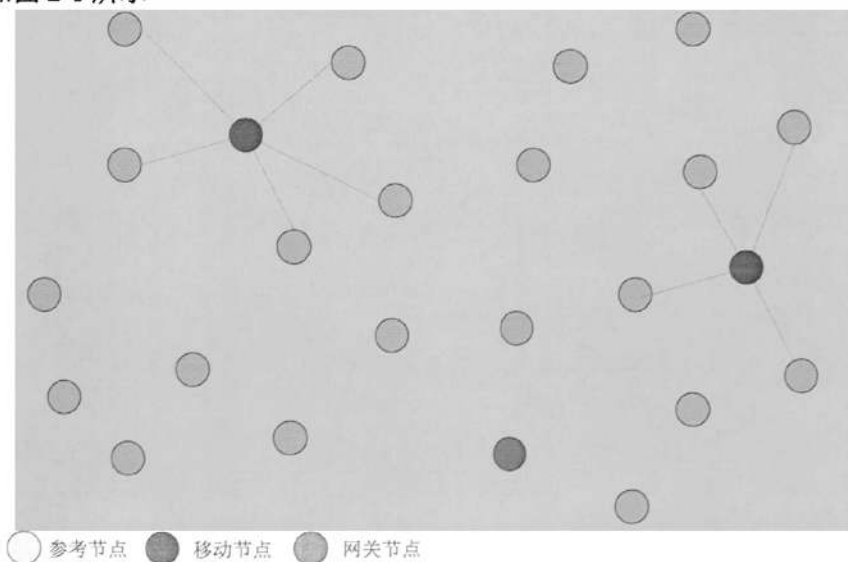


图 2-1 无线定位跟踪系统架构

其中参考节点用于接收移动节点的数据和数据的路由，其坐标是已经知的。移动节点即待定位的节点，其坐标是未知的。网关节点为无线传感器网络所有信息的信宿，可以是手持移动设备，也可以是 PC 机。

参考节点随机分布在环境中，并有各种传感器，随时监测当时的环境参数，当移动节点移动到参考节点的射频有效范围内时，可通过多个节点配合实现定位。可参考节点环境在工业现场的生产车间，参考节点监测各种机器设备的实时参数。并通过网络将参数传到目的节点。

网关节点用于汇总车间里各节点传来的各种参数，以监控生产状况。

移动节点可安装在工人身上，也可安装在机器人身上，当某一参考节点监测到的参数超出正常范围时，可通知最近的工人（或机器人）到此参考节点进行相应处理。以机器人为例，机器人安有可定位装置及视频采集和传输装置，既可以自身定位，同时可将机器人所在的环境视频发到目的点，远程目的点的设备可通过显示器看到机器人所在环境视频，并可对机器人进行机械控制。

## 2.2 芯片选择

根据定位跟踪系统功能，也可将系统划分为四个主模块，

- (1) 传感器模块。
- (2) MCU 模块。
- (3) 无线收发模块。
- (4) 网关模块

其中，传感器模块依赖于不同应用，不同的应用场景可能有不同的传感器。MCU 模块用于数据的计算和系统的控制。无线收发模块则用于数据的传输。网关模块用于收集数据并传送到 PC 机或手持设备上<sup>[4]</sup>。

### 2.2.1 节点主芯片

目前市场上无线传感器网络解决方案大都支持 IEEE802.15.4 标准，在此基础上可实现 ZigBee 网络的架设。主要的 ZigBee 芯片提供商（2.4GHZ）有：TI/CHIPCON、EMBER、JENNIC、FREESCALE、MICROCHIP 四家。ZigBee 技术提供方式有三种：

- RF+MCU 例如：TI CC2420<sup>[5]</sup>+MSP430、FREESCLAE MC13XX+GT60、MICROCHIP MJ2440+PIC MCU。
- 单芯片集成 SOC 如：TI CC2430/CC2431(8051 内核)<sup>[6]</sup>、FREESCALE MC1321X 、EM250。

- 单芯片内置 ZIGBEE 协议栈+外挂芯片 JENNIC SOC+EEPROM、EMBER 260+MCU。

从 MCU 方面看, CC2430/CC2431 采用加强型 8051F 处理器, 其他四家公司都是采用自己的微处理器。从开发难易程序上看, 采用 8051 处理器较方便, 因 8051 微处理器诞生 30 多年, 目前在国内最为普及。参考资料和开发工具都非常丰富。

从 ZigBee 协议栈的支持程度看, 目前 TI 提供 CC2430/CC2431 ZIGBEE2006 协议栈, 全套协议栈原来报价 10 万人民币, 目前已经开放免费下载, 虽然开放下载的协议栈是库文件, 但是全功能, 包括网状网络拓扑的全功能协议栈。

组成传感器网络的节点可能有成千上万个, 所以最终成本是必须要考虑的因素。CC2430/CC2431 是全部方案中, 唯一一个包括 FLASH 存储器+MCU+ZigBee RF 全集成, 真正的单芯片解决方案。而 JENNIC 的“单片机”只有 ROM(只读存储器), 芯片内部没有存放用户程序的地方, 系统必须要外加一个 EEPROM, 全部程序必须存储在外部的 EEPROM 中。

综上所述, 本系统将选用 CC2430/CC2431<sup>[7]</sup>作为节点主控芯片。CC2430 芯片射频部分沿用了 CC2420 芯片的架构, 在单个芯片上整合了 ZigBee 射频(RF)前端、内存和微控制器。它使用 1 个 8 位 MCU (8051), 具有高达 128 KB 可编程闪存和 8 KB 的 RAM, 还包含模拟数字转换器(ADC)、几个定时器 (Timer)、AES128 协同处理器、看门狗定时器 (Watchdog timer)、32 kHz 晶振的休眠模式定时器、上电复位电路(Power On Reset)、掉电检测电路(Brown out detection), 以及 21 个可编程 I/O 引脚。

CC2430 芯片采用 0.18 $\mu$ m CMOS 工艺生产, 工作时的电流损耗为 27 mA; 在接收和发射模式下, 电流损耗分别低于 27 mA 或 25 mA。CC2430 的休眠模式和转换到主动模式的超短时间的特性, 特别适合那些要求电池寿命非常长的应用。CC2430 芯片的主要特点如下:

- 高性能和低功耗的 8051 微控制器核。
- 集成符合 IEEE802.15.4 标准的 2.4 GHz 的 RF 无线电收发机。
- 优良的无线接收灵敏度和强大的抗干扰性。
- 在休眠模式时仅 0.9  $\mu$ A 的流耗, 外部的中断或 RTC 能唤醒系统;在待机模式时少于 0.6  $\mu$ A 的流耗, 外部的中断能唤醒系统。
- 硬件支持 CSMA/CA 功能。

- 较宽的电压范围 (2.0~3.6 V)。
- 数字化的 RSSI/LQI 支持和强大的 DMA 功能。
- 具有电池监测和温度感测功能。
- 集成了 14 位模数转换的 ADC。
- 集成 AES 安全协处理器。
- 带有 2 个强大的支持几组协议的 USART, 以及 1 个符合 IEEE 802.15.4 规范的 MAC 计时器, 1 个常规的 16 位计时器和 2 个 8 位计时器。
- 强大和灵活的开发工具。

CC2431 是在 CC2430 的基础上集成了 Motorola 的基于 IEEE802.15.4 标准的无线定位算法硬件引擎。采用该芯片, 可以实现 0.25 米的定位分辨率和 3 米左右的定位精度, 而这个定位精度已经大大高于 GPS 定位的精度, 定位时间小于 40 微秒。采用 CC2431 实现定位网络, 需要至少 3 个参考节点。

### 2.2.2 网关主芯片

网关的功能是收集网络里其它节点发过来的数据并传送到 PC 机或手持设备上, 以控制和监视整个网络的运行。

与 PC 机和手持设备的数据传输方式有多种, 如串口, USB, 以太网等。

串口是开发过程中必不可少的模块, 既可以用于调试程序, 又可以向 PC 机传回节点信息。

USB 接口是各种设备广泛支持的接口, OTG 技术的发展使各种手持设备上集成了 USB 控制器。网关支持 USB 传输将大大扩展本系统的应用范围, 可以方便移植到各种支持 USB 接口的设备上, 而不需要重新开发整个系统。

本系统将支持 USB2.0 协议<sup>[8]</sup>, 选择 Cypress 的 EZUSB 解决方案 CY7C68013<sup>[9][10]</sup>。选择此方案原因如下:

- 集成 USB2.0 收发器、SIE (串行接口引擎) 和增强性 8051 微处理器
- 通过 USB 下载, 支持重枚举。
- 具有通用可编程接口 (GPIF)
- 先进的驱动程序和 API 支持, 方便上位机开发程序。

Cypress Semiconductor 公司的 EZ-USB FX2 是世界上第一款集成 USB2.0 的微处理器, 它集成了 USB2.0 收发器、SIE (串行接口引擎)、增强的 8051 微控制器和可编程的外围接口。FX2 这种独创性结构可使数据传输率达到

56Mbytes/s, 即 USB2.0 允许的最大带宽。在 FX2 中, 智能 SIE 可以硬件处理许多 USB1.1 和 USB2.0 协议, 从而减少了开发时间和确保了 USB 的兼容性。GPIF (General Programmable Interface) 和主/从端点 FIFO (8 位或 16 位数据总线) 为 ATA、UTOPIA、EPP、PCMCIA 和 DSP 等提供了简单和无缝连接接口。

CY7C68013 有三种封装形式: 56SSOP, 100TQFP 和 128TQFP, 并集成了以下特性:

- USB2.0 收发器、SIE (串行接口引擎) 和增强性 8051 微处理器;
- 软件运行: 8051 程序从内部 RAM 开始运行, 可以借助下列几种方式进行程序装载:
  - (1) 通过 USB 下载;
  - (2) 从 EEPROM 中装载;
  - (3) 通过外部存储器设备。
- 四个可编程 BULK/INTERRUPT/ISOCRONOUS 端点, 可选双、三和四级缓冲。
- 8 位或 16 位通用可编程接口 (GPIF)
  - (1) 可以直接连接到并口, 8 位和 16 位;
  - (2) 可编程波形描述符和配置寄存器;
  - (3) 支持多个 Ready 输入和 Control 输出。
- 集成标准 8051 内核, 且具有下列增强特性:
  - (1) 可以达到 48MHz 时钟;
  - (2) 每条指令占四个时钟周期;
  - (3) 两个 USARTs;
  - (4) 三个定时/计数器;
  - (5) 扩展的中断系统;
  - (6) 两个数据指针。
- 3.3V 电源系统;
- 智能串行引擎 (SIE);
- 矢量 USB 中断;
- 独立的数据缓冲区供 SETUP 和 DATA 包控制传输;
- 集成 I2C 控制器, 运行速度可达 100 或 400KHz;
- 四个 FIFO, 可与 ASIC 和 DSP 等无缝连接;

- 专门的 FIFO 和 GPIF 自动矢量中断；

## 2.3 硬件架构

### 2.3.1 参考节点

如图 2-2 所示。

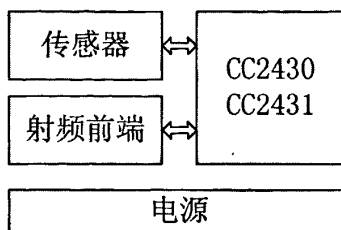


图 2-2 参考节点

特点：有传感器和射频前端，随机分布在环境中，监测所在环境的各种参数，并可将获得的环境数据通过无线的方式发送出去。其位置是已知的，其位置的获得可通过事先的确定，或者节点部署后通过自定位确定其实际位置，这种节点在网络中位置往往被部署后就固定了，可作为移动节点定位的位置参考，也作为数据的汇聚和中转节点，即路由节点。电源通常用电池供电。

### 2.3.2 移动节点

如图 2-3 所示。

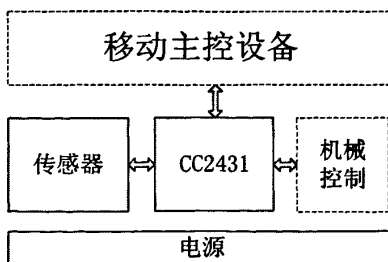


图 2-3 移动节点

特点：有传感器和射频前端，可监测所在环境的各种参数，并可通过无线方式发送出去。可进行自身定位。其位置是可随时移动的，所以在这类节点的定位也是实时的。

### 2.3.3 网关节点

即网关，如图 2-4 所示。

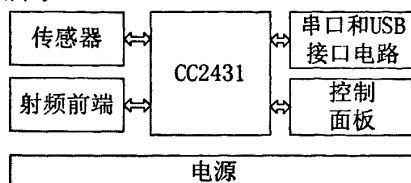


图 2-4 网关节点

特点：无线传感器网络中数据的最终汇聚点，节点通过串口或 USB 口，或其它接口与 PC 机或 PDA 相连，以获得无线传感器网络中的数据和移动节点的位置信息，可监控无线传感器网络所在环境的某些参数，也可监控移动节点在无线传感器网络中的位置。

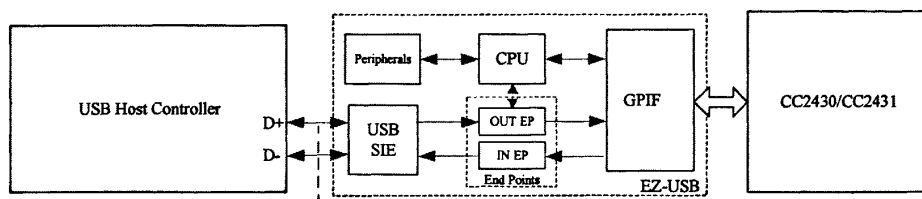


图 2-4 网关节点 USB 接口

## 2.4 软件架构

### 2.4.1 节点软件架构

节点软件架构如图 2-5 所示：

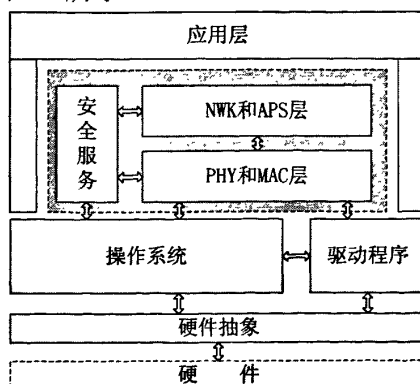


图 2-5 ZigBee 节点软件架构

硬件的基础上,要进行硬件的抽象,将具体的硬件细节屏蔽,不同的芯片功能实现的方式不同,接口以及寄存器的定义也肯定不同。进行硬件抽象的目的是为了程序的可移植性,模块化以便于软件工程的管理。

硬件抽象层之上是操作系统和驱动程序。操作系统为 ZigBee 协议栈的运行提供了一个比较统一的平台,进一步增加了程序的可移植性。驱动程序随着节点功能不同要进行重新定义,如串口驱动,如本文将 CC2430 与 USB 从芯片相信,其通信程序在驱动程序的范围内进行编写。

系统使用 CC2430/CC2431 的另一个好处是, TI 公司已为芯片提供了完备了解决方案,从基本的硬件抽象,基本驱动程序,操作系统到 ZigBee 协议栈等。也提供了优秀的应用程序编程框架,可在此框架内进行应用程序的开发,可极大地减少了工程开发周期。

## 2.4.2 USB 通信软件架构

USB 接口是当前市场上最为成功的接口,集成 USB 接口可大范围扩展系统的应用范围。本系统支持 USB2.0 的通信,以 HID 设备程现给主机。主机可以是 PC,也可以是具有 USB OTG 功能的手持移动设备,如 PDA,可真正实现移动定位,移动监控。

本系统所使用 USB 软件架构如图 2-6 所示:

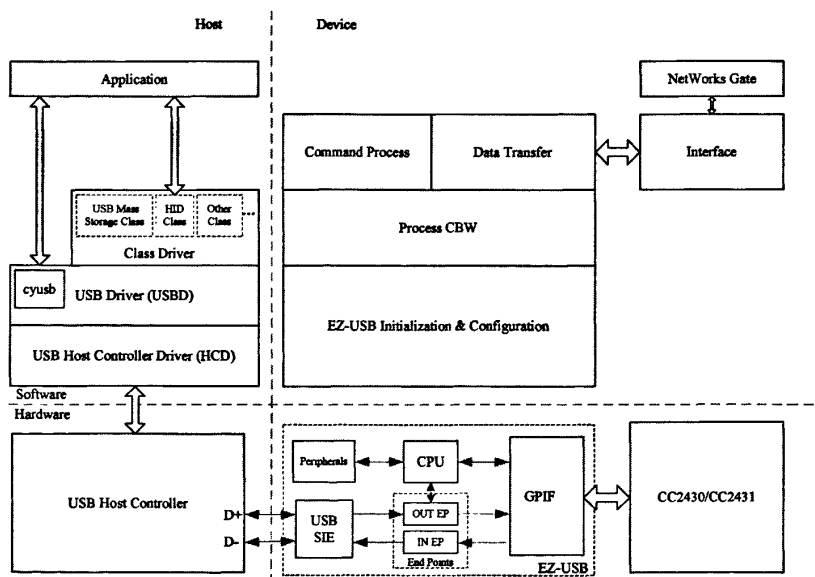


图 2-6 网关节点的 USB 通信软件架构

图 2-6 为在 Windows 下 USB 通信的架构。Windows 应用程序通过驱动程序向 CY7C68013 的端点发送数据和命令，CY7C68013 进行相应的处理，解析命令并转发数据至 CC2430/CC2431，CC2430/CC2431 有数据送回主机时，可通过 GPIF<sup>[11]</sup>接口直接送入 CY7C68013 的端点，CY7C68013 的串行接口引擎 SIE 自动将数据发回主机，从而主机获得节点信息，进而获得 ZigBee 网络的信息。

## 第3章 定位跟踪系统的硬件设计

### 3.1 天线选择

无线传感器网络节点的天线<sup>[12]</sup>有其自身独有特点，受限于无线传感器网络节点的大小，其天线也应该做得尽可能小。因无线传感器网络节点量大，大量分布在环境中才能发挥其独有的作用，成本是很敏感的问题。无线传感器网络节点多是有限能源供电，对电能的消耗也很敏感，所以对天线的效率也提出了严格的要求。无线定位是无线传感器网络的一个非常吸引人的特点，但是定位功能建立在天线的全向性基础之上，故对天线的辐射方向也提出了更高的要求。

#### 3.1.1 天线的分类及性能参数

天线根据不同的参数可有多种分类方法。

- 按波长分类，有微波天线、分米波天线、短波天线、中波天线和长波天线。本系统所使用的天线为微波天线。
- 按辐射方向分类，有定向天线和全向天线。本系统所使用的天线为全向天线。
- 按天线极化方式不同，可分为单极天线和偶极天线。单极天线和偶极天线的辐射方式很相似，而基于成本体积的考虑，单极天线为较佳的选择。

天线的性能是由一组参数来衡量的。由互易性原理，同一个天线在发送和接收电磁波时性能是相同的，所以天线的性能参数大都建立在发射天线的基础上。其主要参数有：方向图，方向系数，输入阻抗，辐射电阻，辐射效率，频带宽度，品质因子，增益，驻波比与行波系数，前后辐射比等。

#### 3.1.2 单极天线

单极天线<sup>[13]</sup>是从中心馈电点处切去一半并相对于地面馈电的偶极天线。在

单极天线前将先简单讨论下偶极天线，偶极天线的一些结论对单极天线的设计也有较大帮助。单极天线有如下特点，使其非常适合作为无线传感器网络的天线。

- 体积小：相同条件下，单极天线只有偶极子天线大小的一半。
- 制作简单：一根直导线即可作成一个单极天线。
- 成本低：因其制作简单，成本自然降低，这对无线传感器网络节点成本的降低有很大的影响。
- 单极天线当与水平面垂直时，其辐射图是全向，符合无线传感器网络对天线全向性的要求。

### 3.1.2.1 偶极天线分析

电荷在直导体里做往复加速（或减速）运动从而形成电磁辐射，偶极天线可抽象为两个异性、等量且按瞬间间距上下简谐振荡的电荷，其变化的电场即形成电磁辐射，这就是偶极子天线的辐射原理。半波振子天线即是一种被广泛采用的偶极天线，如图 3-1 所示。

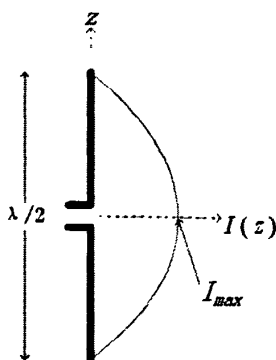


图 3-1 半波振子天线

半波振子天线的优点是可以做到谐振，使其输入阻抗的特性为纯电阻的，这样就可避免调节共轭匹配。谐振时天线长度略小于半波长，此时天线自身的损耗很小，辐射电阻也约等于输入阻抗  $73\Omega$ ，天线效率也接近 100%。偶极天线的结构简单，天线直径对输入电阻受的影响较小，而对输入电抗影响较大，所以缩短天线长度可调节电抗。

### 3.1.2.2 单极天线分析

偶极天线的其中一臂变成一个平面时就形成单极天线，当这个平面无限大到为理想导电平面时，利用镜像法可以等效于相应的偶极子天线，如图 3-2 所示。实际上只要这个平面的径向距离大于波长的四分之一，其作用就近似于无限大的平面了。

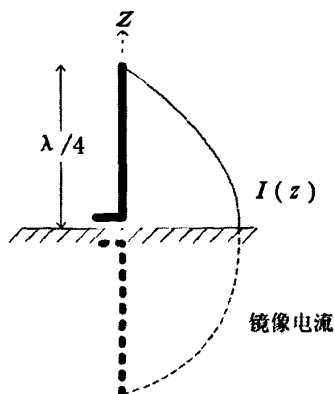


图 3-2 单极天线

单极天线的辐射方向图与本单极天线所对应的偶极天线的上半部分是相同的，天线垂直于水平面放置时，它的辐射方向即是全向的，这可以很好地满足无线传感器网络中对天线的全向性要求。此外，单极天线的电流、电荷和与其对应的偶极天线的上半部分也是等效的，只是其端电压只有偶极天线的一半，这是由于其输入端的缝隙宽度只有偶极子天线的二分之一，相同的电场在一半的距离上产生一半的电压。因此单极天线的输入阻抗只有对应偶极天线输入阻抗的二分之一，即：

$$Z_{A,mono} = \frac{V_{A,mono}}{I_{A,mono}} = \frac{\frac{1}{2}V_{A,dipole}}{I_{A,dipole}} = \frac{1}{2}Z_{A,dipole}$$

另一方面，单极天线的镜像部分并不辐射功率，因此它的辐射电阻也只有相应偶极天线辐射电阻的一半。单极天线的长度一般为四分之一波长。

### 3.1.3 单极天线的阻抗匹配

#### 3.1.3.1 为什么要进行阻抗匹配

阻抗匹配是微波电子学里的一部分，主要用于传输线上，来达至所有高频的微波信号皆能传至负载点的目的，不会有信号反射回到源点，从而提升电能效益。阻抗匹配是指负载阻抗与激励源内部阻抗互相适配，得到最大功率输出的一种工作状态。对于不同特性的电路，匹配条件是不一样的。在纯电阻电路中，当负载电阻等于激励源内阻时，则输出功率为最大，这种工作状态称为匹配，否则称为失配。当激励源内阻抗和负载阻抗含有电抗成份时，为使负载得到最大功率，负载阻抗与内阻必须满足共扼关系，即电阻成份相等，电抗成份

只数值相等而符号相反。这种匹配条件称为共扼匹配。

### 3.1.3.2 阻抗匹配一般方法

(1) 利用计算机进行仿真。这类软件是的功能设计是通用的，而不只是用于阻抗匹配，故而用起来较难。设计者须熟悉并正确输入众多不同格式的数据。设计者也需有从大量的输出结果中寻找有用数据的能力。

(2) 利用手工计算。此方法极为繁琐，并且处理的数据多半为复数。

(3) 靠经验。只在本领域工作过多年的专家才能自由使用此法，需要非常丰富的射频电路设计知识和经验。

(4) 史密斯圆图。史密斯圆图由很多圆周交织在一起。正确地使用它，可在不做任何计算的情况下得到一个表面上看非常复杂的系统匹配阻抗，而唯一要做的就是沿着圆周线读取并跟踪数值。史密斯圆图是阻抗测量和匹配的重要工具，该图同时包括阻抗圆和导纳圆，若已知反射系数，就可以找到两个圆周的交点从而读取相应的  $\gamma$  和  $x$  的值。

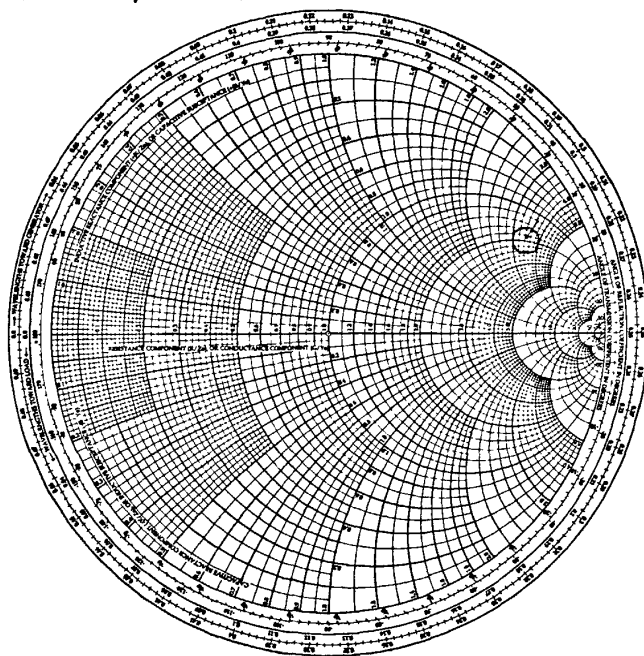


图 3-3 史密斯圆图

### 3.1.3.3 无线芯片 CC2430/CC2431 与单极天线的阻抗匹配

CC2430 射频信号的收发是采用差分方式进行传输的，其最佳的差分负载为

115+j180Ω。其阻抗匹配电路应根据此数值进行调整。使用单极天线，需用不平衡阻抗转换电路进行转换，如巴伦电路，以达到最佳收发效果。巴伦电路可由低成本的电感和电容构成，最佳的匹配参数分布在图 3-3 史密斯圆图中标识区域，电路图设计时各电感电容的参数可参考该区域数据适当调整。

但是，由低成本电容电感组成的巴伦匹配电路在性能容易受电路板分布参数的影响，受电路板过孔，厚度及材料的影响都比较明显，可控性不高。可使用集成的不平衡到平衡的转换器，如 BD2425N50200A00，使用此模块可保证性能上优化而并不会提高太多的成本。

### 3.2 硬件总体结构

本系统使用模块化设计，根据功能，采用核心板加底板的模式，由 CC2430/CC2431 组成核心板，设计三种不同的底板，分别为网关底板，固定节点底板和移动节点底板。采用模块化设计有下优点：

- 维护简单，不同的模块专注于专门的功能。
- 扩展方便，加上不同的底板可组成更高级不同功能的模块。
- 降低开发成本，某一模块设计失败不会影响其它模块的使用。

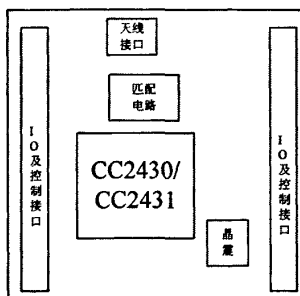


图 3-4 子模块 A: CC2430/CC2431 核心板

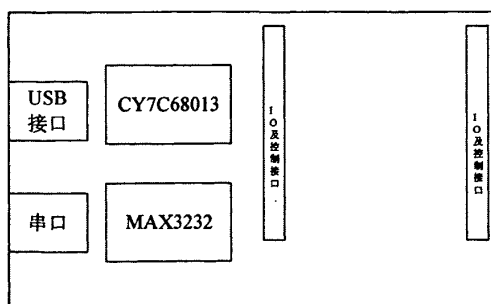


图 3-5 子模块 B: 网关模块底板

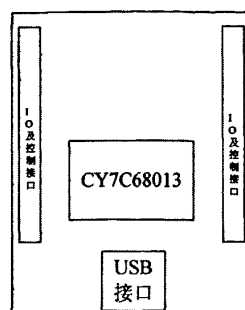


图 3-6 子模块 C: 只有 USB 接口的网关模块底板，可用于手持设备上

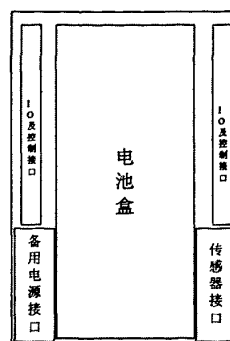


图 3-7 子模块 D: 可作为固定节点和移动节点模块底板

基于此四种子模块，可实现无线定位跟踪系统所有所需节点的组合。

#### (1) 移动节点。

方案一：子模块 A+子模块 C。此移动节点可接于具有 USB 主控制器的移动设备上，可实现自身的定位，前同时可作为网关节点，监控整个无线传感器网络。如某人位于无线传感器网络中，手持 PDA，PDA 接连此节点，可获得自身当前位置，并实时查看当前网络的状态及参数。此方案即可以作为移动节点，也可以作为网关节点，当然也可作为两种节点的功能结合。

方案二：子模块 A+子模块 D。此移动节点可植于移动的物体，可收集移动物体的参数和位置信息，并可发布信息到无线传感器网络上去。

#### (2) 网关节点。

方案一：与移动节点方案一相同。

方案二：子模块 A+子模块 B。此种方案可用于连接 PC 机，在无线传感器网络中的某处网络中的某个位置所有信息。这个位置可以固定，也可以移动，只要选择的子模块 A 具有自身定位的功能，即可实现与方案一相同的功能。

#### (3) 固定节点。

子模块 A 与任意底板的结合都可作为固定节点使用。具体地，在电源的获取方式上可以弹性地选择模块的结合。如只能由电池供电，由可以选择与子模块 D 的结合，尽可能的减少电路可获得功耗上的减小。

### 3.3 无线核心板设计

3.3.1 电源处理

按模块来说，无线核心板子模块 A 所需的电压有两种：芯片 IO 电压和射频核心电压。射频核心电压为 1.8V，由芯片内部的稳压器生成。芯片 IO 电压范围为 2.0V 到 3.6V。子模块 A 的电压全部由底板提供，故电源电路全部放于底板之上。

3.3.2 晶振

由于 CC2430/CC2431 射频工作于 2.4GHz，其频率源为 CC2430/CC2431 外接的 32MHz 晶振经 PLL 获得。这就要求 CC2430/CC2431 所使用的晶振应有一定的频率精度和稳定度。其参数具体如下：

| 参数     | 最小  | 典型  | 最大 | 单位       | 备注                       |
|--------|-----|-----|----|----------|--------------------------|
| 晶振频率   |     | 32M |    | MHz      |                          |
| 晶振频率精度 | -40 |     | 40 | Ppm      | 此精度已把老化和温度考虑在内。          |
| 等效串连电阻 | 6   | 16  | 60 | $\Omega$ |                          |
| $C_o$  | 1   | 1.9 | 7  | pF       |                          |
| $C_L$  | 10  | 13  | 16 | pF       | CC2430/CC243 负载电容通过软件可调。 |
| 建立时间   |     | 212 |    | us       |                          |

3.3.3 天线电路

CC2430/CC2431 的天线设计是比较难的一部分。因使用单极天线，需要匹配电路实现天线到 CC2430/CC2431 射频前端的阻抗匹配，以求达到辐射效率的最大化，从这个意义上也可以减小节点的功耗。传统上使用小型贴片电容，电压以及微带线组成，但这种方式实现的匹配电路受电路板材质，过孔影响都比较大，微带线的走线及布局在缺少仪器测试的情况下，实现起来很难。故本系统选用集成的阻抗匹配模块 BD2425N50200A00 模块。

BD2425N50200A00 模块是一种低成本，微型不平衡到平衡的转换器，可很方便地应用于现代射频芯片。相比传统的分立元件组成的不平衡转换器转换器，

其性能较高且适合于大批量生产。此转换器可将单端信号连接到双端接口上去。在 2400MHz 至 2500MHz 时，其性能如下，可方便用于无线传感器网络的节点设计中。

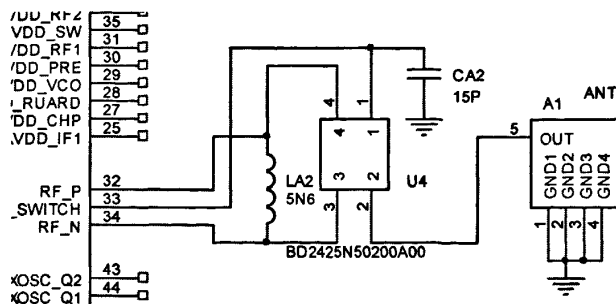


图 3-8 单极天线匹配电路

### 3.4 节点设计<sup>[14]</sup>

#### 3.4.1 节点电源

本系统中，有三种获取电源的形式，分别为：

- 电池。
- USB 总线。
- 外接直流电源。

固定节点的电源一般取于电池，因其位置固定，通常部署后不再对其进行维护。移动节点和网关节点可能由三种形式的任意一种或几种同时供电。当多种电源同时对节点供电时，要对其进行处理，防止电流倒灌入电池或低电压电路。常用的方法为串入肖特基二极管，肖特基二极管的特点为单向导通性，导通压降只有 0.3V。

子模块 B 和 C，为网关底板，因其只与上位机相连，故只从 USB 总线取电。

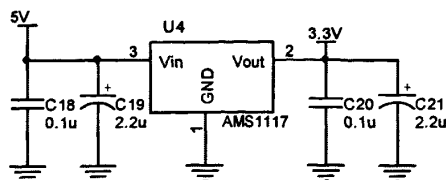


图 3-9 稳压电路

子模块 D，由电池和外接直流电源供电。电源正极接入点串入肖特基二极管，

以防止电流倒灌，当使用外接电源供电时，使用低成本 AMS1117 作为稳压器，获得 3.3V 电压。电路如下图所示。

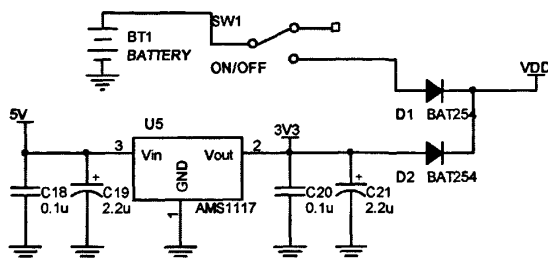


图 3-10 电池与外接电源供电电路

### 3.4.2 串口电路

实现无线传感器网络中数据，主要通过串口和 USB 口收集。串口是传统的 PC 接口，电路及程序实现简单。CC2430/CC2431 已经集成了高性能的串口通信逻辑，但其输出是 CMOS 电平，与 PC 机的串行口电平不匹配，需要有一个电平转换电路对这两种电平进行匹配。常用的芯片为 max3232。其电路图如下：

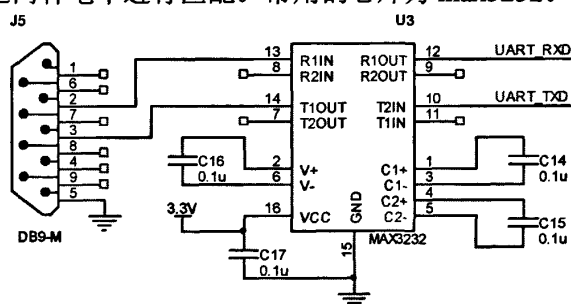


图 3-11 串口电平转换电路

### 3.4.3 USB 接口电路

USB 接口广泛应用，故系统支持 USB 接口是非常重要且实用的。

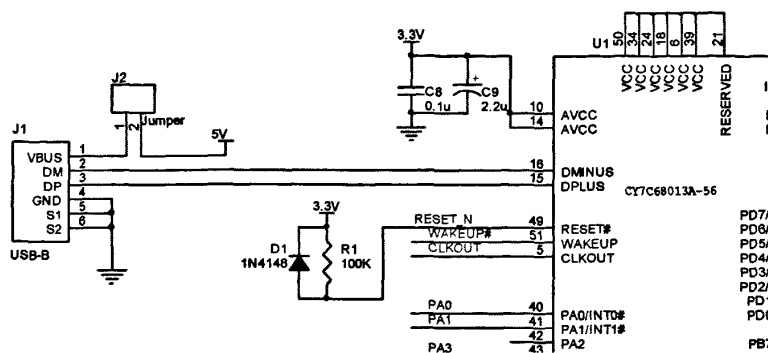


图 3-12 USB 接口电路

### 3.4.4 网关节点电路图

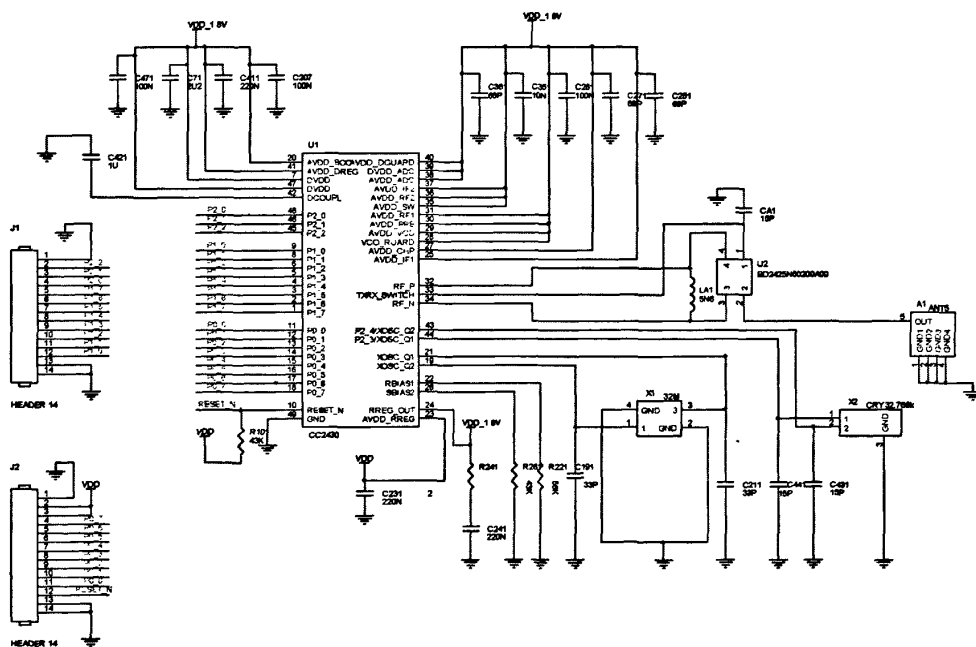


图 3-13 无线核心板原理图

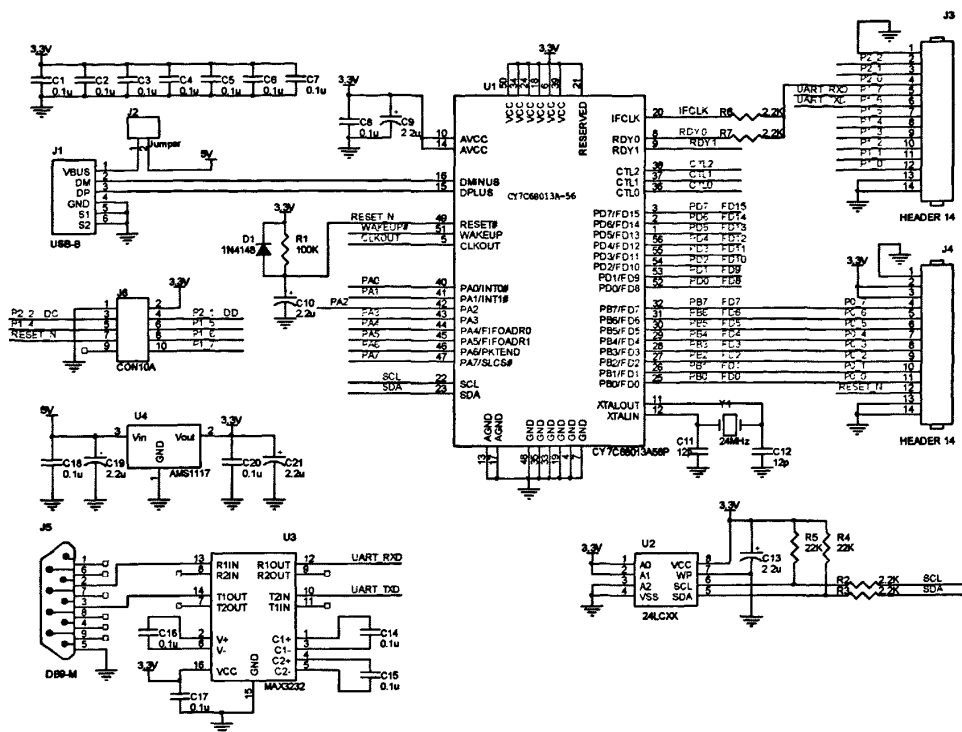


图 3-14 网卡底板原理图

### 3.5 PCB 设计

系统大多电路工作于 60MHz 以下，为降低成本，采用两层板设计。对于工作于高频部分的电路，则通过限制电路板的厚度和传输线的宽度以及线与线之间的距离，以达到控制传输线的阻抗的目的，通过大面积敷铜来达到控制电磁泄露的效果<sup>[15]</sup>。

元件布局时，遵循以下原则：

电源处理：

- 电源引脚上的去耦电容要尽可能地靠近电源引脚。
- 电源走线的宽度要尽量宽，一般宽度要达到信号走线宽度的两倍以上。

低频信号走线处理

- 走线间距尽量符合 3-W 原则。3-W 原则是走线边沿之间的距离应该大于或者等于两倍的走线宽度，也就是说，两条走线中心之间的距离应该大于或者等于 3 倍的走线宽度。

- 所有走线应避免 90 度的拐角，而尽量走 45 度拐角。

#### 高频信号走线的处理<sup>[16]</sup>

本系统中，有两个高频信号要处理

USB 信号走线。应该满足以下原则：

- 由于 USB 信号线是模拟差分信号，两信号线的长度应该尽量相等，相关长度不大于 3 毫米。
- USB 信号线反层作敷铜到地处理作为信号线的参考面，参考面不能有断裂，以达到信号完整性要求以及阻抗控制的要求。
- USB 信号线不应该有过孔。
- USB 信号线与其它信号线的距离应大于 10 毫米，可能的话用地线包裹。
- USB 接头外壳要接地处理。

#### CC2430 天线信号线

由于 CC2430 天线工作于 2.4GHz，工作频率非常高。其天线相关的信号走线应该考虑以下几点

- 天线离 CC2430 芯片的射频引脚要尽可能近。
- 天线信号走线区域用地平面包裹，反面敷铜。
- 天线信号走线与其它信号走线之间的距离尽可能远。
- 走线过孔尽可能少，使用小型贴片元件，以减少电磁干扰。

## 3.6 硬件系统调试

好的硬件平台为系统的实现提供了良好的基础，可为软件人员提供良好的编程接口，能够在软件的移植，扩展上提供灵活的支持。本系统调试的目的为：

- 验证硬件平台的完整性。
- 验证硬件平台的功能完整性。

调试的项目有：

- 子模块 A 的电路完整性。
- 子模块 A 的外设工作情况。
- 无线收发功能。
- 天线的全向性。
- USB 接口通信。

- 串口通信
- 子模块 A 和底板模块的通信。

### 3.7 调试流程及方法

电路焊接的过程中，应该先焊接电源。电源系统焊接好后用万用表测试电源系统是否符合要求。

#### (1) 子模块 A 的电路完整性。

电源系统通过后焊接 CC2430 最小系统，晶振，仿真接口，通用 IO 端口控制的 LED 等。然后通电，在编译上通过仿真器抓取芯片。若抓取芯片不成功，则检查最小系统连接是否正确，焊接是否牢靠，芯片电源引脚电压是否正确。抓取芯片成功后下载固件程序，通过仿真器监视程序运行，也可通过编写程序控制 LED。若通过说明模块 A 的最小系统是完整的。

#### (2) 子模块 A 的外设工作情况。

子模块 A 的外设有串口，ADC，通用 IO 口等。首先调试串口，因串口简单又有丰富的例程，调试容易出现的问题都易于排除。同时，串口调通后可打印信息到超级终端上，帮助其它模块的调试。如 ADC 外设的调试，用一可调电阻器分压送入 ADC 输入口，程序不断读取 ADC 值并打印值到串口，可通过对比电压值与 ADC 采样值。若不正确，可能由以下原因引起：

- 参考电压不正确。
- ADC 模块设置不正确。

#### (3) 无线收发功能。

为方便调试，并定位可能出现的错误。事先准备两个可通信 CC2431 或 CC2430 模块。其中一个收数据，其中一个发数据，确保其链路的畅通。首先调试接收功能，因空间已经有信号存在，并可通过好的模块监测信号。接收调试通后再调试发送功能。

#### (4) 天线的全向性。

此项测量基于前面测试通过。在空旷地带，设置一节点 A 以某一功率发射电磁波，设置节点 B 接收 A 发出的电磁波并测量接收功率。以节点 A 中心，在某个半径上移动 B 接点，B 接点发送数据到网关节点并通过串口向 PC 打印特定点的接收功率。在不同半径上重复测量。连接具有相同值的点，即可得到天线的全向性图。

## 第 4 章 定位跟踪系统的软件设计

### 4.1 硬件抽象

#### 4.1.1 硬件抽象的目的

如图 4-1 硬件抽象在软件设计架构中的位置所示。

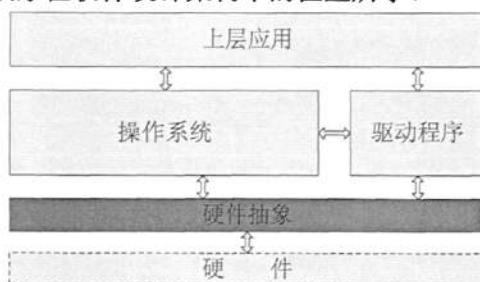


图 4-1 硬件抽象在软件设计架构中的位置

通过硬件抽象，将硬件的实现细节屏蔽，为操作系统和驱动程序的实现提供了一个统一的平台，这种架构大大地增加了系统的可移植性。在不同的硬件平台上，只需再重新定义硬件抽象层，所有上层的代码都可以运行。

#### 4.1.2 硬件抽象的方法

硬件抽象的方法是可以建立一系列的头文件，通过宏定义将外设接口，IO 接口，定时器等接口统一。在不同的 MCU 平台上移植程序时，只要修改这些头文件即可。

以定义 LED 灯为例，定义以下接口：

```

void HalLedInit (void);                //初始化 LED
uint8 HalLedSet (uint8 leds, uint8 mode) //设置 LED 模式
void HalLedBlink (uint8 leds, uint8 numBlinks, uint8 percent, uint16 period)
                                           //设置闪烁参数
void HalLedUpdate (void)                //更新 LED 状态
void HalLedOnOff (uint8 leds, uint8 mode) //LED 开关控制
  
```

## 4.2 ZigBee 协议的分析与实现

IEEE802.15.4 协议<sup>[17]</sup>主要规定了 PHY 层和 MAC 层, Zigbee 联盟则制定协议中的网络层和应用层

### 4.2.1 IEEE802.15.4 协议

IEEE802.15.4 协议<sup>[18]</sup>是基于 OSI 协议模型的规范, 如图 4-2 所示, IEEE802.15.4 协议层次化模型, 每一层实现特定的通信功能, 利用下一层提供的服务, 并向高层提供服务。IEEE802.15.4 标准包括用于无线个域网的 PHY 层(物理层)和 MAC 层 (访问控制层)。PHY 层由射频收发器和底层的控制模块所构成。MAC 层为上一层访问物理信道提供点到点的通信服务接口。

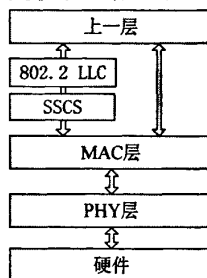


图 4-2 IEEE802.15.4 协议层次模型

#### 4.2.1.1 PHY 层

PHY 层定义了物理无线信道以及与 MAC 层之间的接口, 为 MAC 层提供 PHY 层数据服务和 PHY 层管理服务。PHY 层数据服务从无线物理信道上收发数据, PHY 层管理服务则维护一个由 PHY 层相关数据组成的数据库。

PHY 层数据服务包括以下方面的功能:

- 激活和休眠无线射频收发器。
- 当前信道的能量检测。
- 检测发送链路质量指示 LQI(link quality indication)。
- 基于 CSMA/CA 的空闲信道评估。
- 信道频率的选择。
- 数据的收发。

其中, 当前信道的能量检测为网络层信道选择提供了依据。主要测量目的信道中接收信号的强度指示, 由于这个检测本身不进行解码操作, 所以检测结

果为有用信号功率和噪声信号功率之和。

链路质量指示为网络层或者应用层提供了接收数据帧时无线信号强度和质量信息，与当前信道的能量检测所不同的是，它要对信号进行解码，生成的是一个信噪比指标。这个信噪比指标和 PHY 层数据单元一道传递给上层处理。

空闲信道评估判断信道是否空闲。IEEE802.15.4 定义了三种空闲信道评估模式：(1)、简单判断信道的信号能量，当信号能量低于某一个门限值就认为信道空闲。(2)、通过判断无线信号的特征，这个特征主要包括两方面，即扩频信号特征和载波频率。(3)、两种模式的综合，同时检测信号强度和信号特征，给出信道空闲判断。

### 物理层的帧

物理层的数据帧称为物理层协议数据单元(PPDU, PHY Protocol Data Unit)，如表 4-1 物理帧格式。每个 PPDU 帧由同步头、物理帧头、PHY 负载组成。同步头包括前导码和帧起始分隔符(SFD, Start-Of-Frame Delimiter)。

表 4-1 物理帧格式

| 4 字节 | 1 字节 | 1 字节     |          | 变长     |
|------|------|----------|----------|--------|
| 前导码  | SFD  | 帧长度(7 位) | 保留位(1 位) | PSDU   |
| 同步头  |      | 物理帧头     |          | PHY 负载 |

前导码为 0x00000000, 用于收发器进行码片或符号的同步。SFD 表示同结束，数据包开始传输。SFD 与前导码构成同步头。帧长度意义为表示 PSDU 的字节数。PSDU 域是变长的，携带了 PHY 层的数据包，包含 MPDU。PSDU 是物理层的载荷。

#### 4.2.1.2 MAC 层

对于广播网络而言，存在竞争使用信道的问题，因此 IEEE 802 在 OSI 参考模型的基础上，将数据链路层分为 MAC 子层和 LLC 子层两个子层。MAC 子层使用物理层提供的服务实现设备之间的数据帧传输，而 LLC 子层则在 MAC 子层的基础上，提供面向连接和非连接的服务。

MAC 子层提供两种服务：MAC 层数据服务和 MAC 层管理服务(MAC sub-layer management entity, MLME)。MAC 层数据服务保证 MAC 协议数据

单元在物理层数据服务中的正确收发,而 MLME 则维护一个存储 MAC 子层协议状态信息数据库。MAC 子层主要功能包括以下几个方面:

- 如果是设备是协调器,那么就要产生网络信标。
- 信标的同步。
- 支持个域网络的关联(association)和去关联(disassociation)。
- 支持设备安全规范。
- 执行信道接入的 CSMA/CA 机制。
- 处理和维持 GTS 机制。
- 提供 MAC 实体之间数据的可靠传输

IEEE 802.15.4 根据网络配置分别采用两种信道访问机制:在无信标功能的网络中采用无时隙的 CSMA-CA 机制,在有信标功能的网络中采用带时隙的 CSMA-CA 机制。

网络协调器负责整个网络的建立与维护。协调器首先为整个网络选择空闲信道,然后产生并定期发送信标帧,同时处理其他设备的关联或去关联请求,数据传输请求等。其中关联操作指的是一个设备在加入某一个网络时,向协调器注册并进行身份认证的全过程。

### 数据传输模型

IEEE 802.15.4 协议规定了三种数据传输方式:设备到协调器、协调器到设备以及对等设备之间的数据传输。在星型网络中,只在协调器和设备之间传输数据。而对于点对点拓扑网络,三种数据传输方式都是存在的。每种数据传输的传输机制另外还取决于这个网络是否支持基于信标的传输。往往在低延的设备之间通信时,采用的传输机制上应该支持信标;网络中没有低延时设备时,在数据传输的过程中是可以选择不使用信标的方式传输的,这时,虽然数据的传输不支持信标,但是在网络连接时,还是需要信标才能完成网络连接的。

### MAC 层帧结构

MAC 层帧结构的设计目标是在最低的实现复杂度下,在多噪声无线信道环境下的进行可靠的数据传输。每个 MAC 子层的帧都是由三部分组成:帧头 MHR (MAC header)、载荷(Payload)和帧尾 MFR (MAC footer)。帧头由帧控制信息(frame control)、帧序列号(sequence number)和地址信息(addressing fields)构成。MAC 子层载荷的长度是可变的,具体内容由帧的类型所决定;帧尾是帧头和负载数据的 CRC 校验序列(16 位)。MAC 层帧格式如表 4-2 所示。

表 4-2 MAC 帧结构

|      |     |           |       |          |       |        |     |
|------|-----|-----------|-------|----------|-------|--------|-----|
| 2 字节 | 1   | 0/2       | 0/2/8 | 0/2      | 0/2/8 | 变长     | 2   |
| 帧控制  | 序列号 | 目的 PAN 标识 | 目的地址  | 源 PAN 标识 | 源地址   | 帧载荷    | FCS |
|      |     | 地址域       |       |          |       |        |     |
| MHR  |     |           |       |          |       | MAC 载荷 | MFR |

帧控制域包含帧类型定义寻址以及其他控制标志等。序列号域为每个帧提供唯一的序列标识。目的 PAN 标识域是指定接收方的唯一 PAN 标识。目的地址域则根据寻址域指定的寻址模式，可以是 16 位长或者是 64 位长，内容指定接收方的地址。源 PAN 标识域是发送帧设备的唯一 PAN 标识。源地址域根据寻址域指定的寻址模式，可以是 16 位长或者是 64 位长，内容指定发送方的地址。帧负载域长度可变，根据不同的帧类型其内容各不相同。FCS 域包含一个 16 位的 ITU-T CRC。

## 4.2.2 Zigbee 协议

IEEE802.15.4 协议<sup>[19]</sup>主要规定了 PHY 层和 MAC 层，Zigbee<sup>[20][21]</sup>联盟则制定协议中的网络层和应用层，实现了组网<sup>[22]</sup>、安全服务等功能，以及一系列无线家庭、建筑等解决方案，提供兼容性认证，市场的动作以及协议的发展延伸。这就保证了消费者从不同的供应商处买到的 Zigbee 设备可以工作于同一无线传感器网络中。

### 4.2.2.1 网络层

ZigBee 标准规定了 ZigBee 网络中的三种类型的设备：ZigBee 协调器、ZigBee 路由器和 ZigBee 终端设备。每个网络都须包含一个 ZigBee 协调器，它负责建立并初始化一个网络，网络的初始化包括选择适合的信道、唯一的 PAN 网络标识符等一系列操作。ZigBee 路由器作为与远程设备之间的中继器，实现多跳通信，能够用来拓展网络的范围，并负责搜寻网络路径，在任意两个设备之间建立起端到端的数据传输。ZigBee 终端设备作为网络中的终端节点，负责数据采集和转发。

根据 ZigBee 协议，其架构延续 IEEE 802.15.4 的思想，将网络层分为数据实体 NLDE (Network Layer Data Entity)、管理实体 NLME (NetworkLayer

Management Entity)。数据实体接口 NLDE 的功能是向上层提供其所需的数据服务，管理实体接口 NLME 则是向上层提供访问内部层参数、配置和管理数据等机制或功能。数据实体提供网络层的数据服务，对应用层和 MAC 层的接口分别为网络层数据访问接口 (NLDE-SAP)和 MAC 层数据访问接口 (MCPS-SAP)，实现两个对等应用层端到端之间的传输。

### 网络层数据实体(NLDE)

网络层数据实体为数据提供传输服务，在两个或多个设备之间传送数据时，要按应用层协议数据单元 APDU (Application support Sub-Layer protocol data unit) 的格式进行传输，并且这些相关设备必须是要在同一网络当中的。网络层数据实体提供如下服务：

- 生成网络层协议数据单元 NPDU (Network layer protocol data unit)。
- 指定拓扑结构传输路由。

### 网络层管理实体(NLME)

网络层管理实体则提供网络管理服务。网络层管理实体提供的服务如下：

- 新设备配置，包括对 ZigBee 协调器和网络设备的初始化操作等配置选项。
- 初始化、连接以及断开网络。
- 分配地址，网络设备新加入时 ZigBee 协调器和路由器为其分配地址。
- 发现邻居设备，发现、记录、报告邻居设备信息。
- 路由发现，发现并记录传送数据的有效网络路由。
- 接收控制，控制设备接收机接收状态。

### 网络层帧结构

网络层帧格式是由网络层报头和网络层有效载荷所组成。ZigBee 网络协议中，定义了网络层数据帧和网络层命令帧两种网络层的帧格式。有用于传递上层发送来的数据数据帧，以及用于传送路由请求，路由应答，路由错误等各种命令的命令帧。网络层帧格式即网络协议数据单元(NPDU)的格式如下表所示。

表 4-3 网络层帧结构

|        |      |     |      |      |     |
|--------|------|-----|------|------|-----|
| 字节数: 2 | 2    | 2   | 1    | 1    | 可变  |
| 帧控制    | 目的地址 | 源地址 | 广播半径 | 帧序列号 | 帧载荷 |
|        | 路由信息 |     |      |      |     |
| 网络层报头  |      |     |      |      | 帧载荷 |

#### 4.2.2.2 应用层

ZigBee 的应用层由应用支持子层 APS (Application Support Sub-Layer), ZigBee 设备对象 ZDO (ZigBee Device Objects)及用户应用程序框架 AF (Application Framework) 组成<sup>[23]</sup>。APS 子层主要负责两方面: (1)绑定表维护, 从而实现匹配的两个设备之间的需求及服务。(2) 在绑定的两个设备间传输数据。ZDO 的主要功能包括定义网络中设备的类型是 ZigBee 协调器、ZigBee 路由器还是 ZigBee 终端设备, 搜寻网络中的设备并且判定这些设备提供什么样的服务, 初始化以及响应绑定请求, 并进行网络设备之间通信安全的确保。 ZigBee 中的应用程序框架为 ZigBee 设备中的应用程序对象提供了环境。

应用程序框架其内部, 应用程序对象通过 APS 数据实体 APSDE-SAP (APS Data Entity)来发送和接收数据, 通过 ZDO 公共接口来实现对应用程序对象的管理和控制。APSDE-SAP 提供的数据服务包括传输以下原语数据: Request、Confirm、Response 以及 Indication。Request 原语支持对等应用程序对象实体之间的数据传输。调用 Request 原语之后的结果, 由 Confirm 原语报告。Indication 原语常用来指示从 APS 到目的应用程序对象实体的数据传输。ZigBee 最多可以定义 240 个相对独立的应用程序对象, 应用程序对象接口的编号从 1 到 240。APSDE-SAP 被分配了两个特殊的端口: 端口 0 固定用于对 ZDO 的数据接口, 端口 255 固定用于对所有应用程序对象的数据广播。端口 241-254 作为保留。ZigBee 的应用层帧结构即应用层协议数据单元 APDU(Application Support Sub-Layer Protocol Data Unit)由应用层帧头和有效载荷组成。帧结构如表 4-4 所示。

表 4-4 应用层帧结构

|        |      |      |            |     |     |
|--------|------|------|------------|-----|-----|
| 字节数: 1 | 0/1  | 0/1  | 0/2        | 0/1 | 可变  |
| 帧控制    | 目的端点 | 簇 ID | Profile ID | 源端点 | 帧载荷 |
|        | 地址信息 |      |            |     |     |
| 应用层帧头  |      |      |            |     | 帧载荷 |

#### ZigBee 技术的网络拓扑结构

ZigBee 技术网络<sup>[24]</sup>有两种拓扑结构: 星型拓扑和对等拓扑, 这两种网络结构如图 4-3 所示。网络中定义了两种设备<sup>[25]</sup>: 全功能设备 FFD (Full function

Device)与精简功能设备 RFD (Reduced function Device)。全功能设备在硬件功能上较精简功能设备完备。在通信能力上,全功能设备可以与所有其它的全功能设备和精简功能设备通信,而精简功能设备只能和与其关联的全功能设备通信。与精简功能设备相关联的全功能设备设备称为该精简功能设备设备的协调器 (Coordinator)。在整个网络中,有且只有一个全功能设备作为网络协调器 (PAN Coordinator)。网络协调器除直接参与应用外,还需要完成成员身份管理、链路状态信息管理以及分组转发等任务。

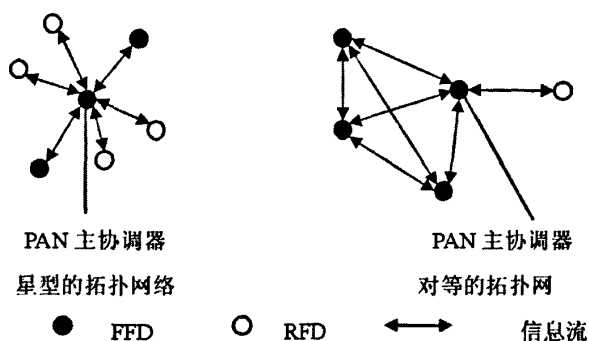


图 4-3 星型拓扑和对等结构举例

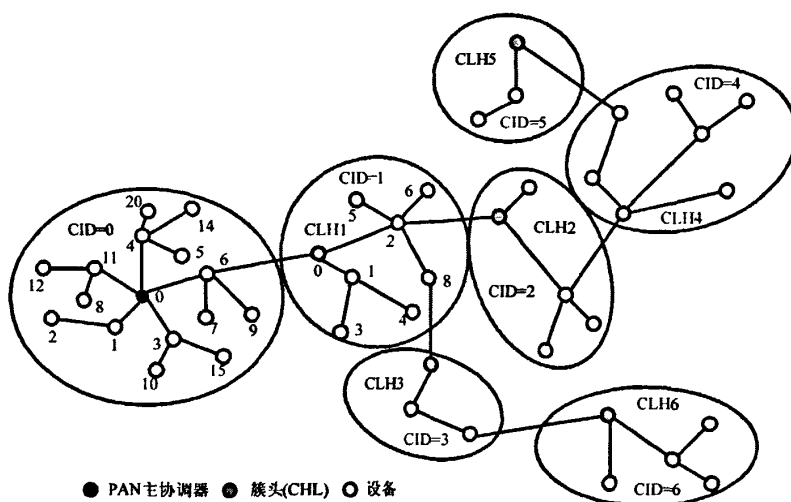


图 4-4 树簇网络

在对等拓扑网络结构中的有种特殊的网络拓扑形式称为树簇网络,如图 4-4 树簇网络所示。在树簇网络中 FFD 设备占大部分,而 RFD 只能作为树枝末尾的叶结点,这是因为 RFD 一次只能与一个 FFD 连接。而任意一个 FFD 都可以作为主协调器,并且为其他从设备和主设备提供同步服务。在整个 PAN 中,只要

相对于网络中其他设备拥有更多资源，这样的设备就可以成为该 PAN 的主协调器。在建立一个 PAN 时，首先 PAN 主协调器将其自身设置为一个簇标识符(CID)为 0 的簇头(CLH)。然后选择一个没有使用的 PAN 标识符，并向邻近的其他设备以广播的型式发送信标帧，进而形成第一簇网络。接收到信标帧的候选设备可以在簇头中请求加入该网络，如果 PAN 主协调器允许发出请求的设备加入，该设备就将主协调器作为它的父节点加到它的邻居节点表中，成为该网络的一个从设备。同理，其他设备也按照同样的方式，请求加入到网络中。如果设备不能加入到该网络中，那么它将寻找其他的父节点。在树簇网络中，最简单的网络结构是只有一个簇的网络，但是多数网络结构由多个相邻的网络构成。一旦第一簇网络满足预定的应用及络需求时，PAN 主协调器将会指定一个从设备为另一个簇的簇头，使得该从设备成为一个主协调器，随后其他的从设备将逐个加入，形成一个多簇网络。

## 4.3 USB 接口的通信实现

### 4.3.1 CY7C68013 固件编程

#### 4.3.1.1 接口描述符

描述符描述了设备的一般特性。设备上电后，主机通过默认管道读取设备的描述符，从而确定是何种设备，进而加载相应的驱动程序。USB 描述符包括设备描述符、配置描述符、接口描述符、端点描述符和字符串描述符，高速设备还包括设备限定描述符和其它速率配置描述符。

设备的描述符位于 Dscr.a51 源文件中，用汇编语言写成，描述符位于一个连续的代码段中。一个设备只可有一个设备描述符，可以有多种配置，每种配置可有多个接口，每个接口可有多个端点。

#### 4.3.1.2 USB 事务处理<sup>[26]</sup>

关于 USB 事务的处理 EZ-USB 已经为我们完成了绝大部分。Firmware 需要处理的 USB 事务可分为三部分，分别为：

- (1) USB 初始化。
- (2) USB 中断服务处理程序
- (3) 端点状态查询和控制。

USB 初始化：包括端点设置，与 GPIF 相关的设置（如 FIFO），中断设置等。

USB 中断服务处理程序：USB 中断较大，本应用只用到四个，分别为：

- SUDAV：SETUPDAT 中 8 个字节可用时。
- SUSP：USB 总线如果连续有 3ms 的非活动时间。
- URES：主机发出 USB 复位请求
- HSGRANT：高速传输可用。

端点状态查询：可查询寄存器 EP2468STAT 的状态，为空还是满。  
TD\_Poll()中不断查询相关端点的状态，如果有数据，则转到相应处理程序。

USB 数据的收和发通过三个端点完成。EndPoint0，EndPoint2 和 EndPoint6。  
端点与主机关系如下图：

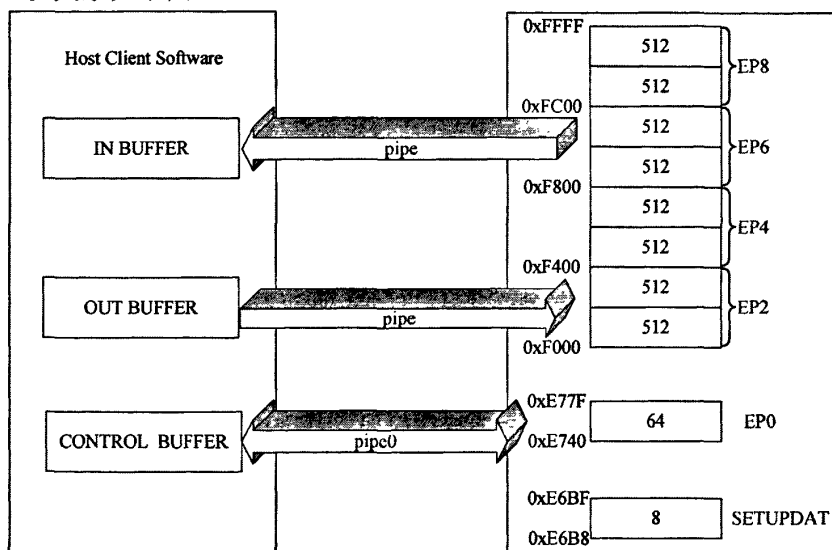


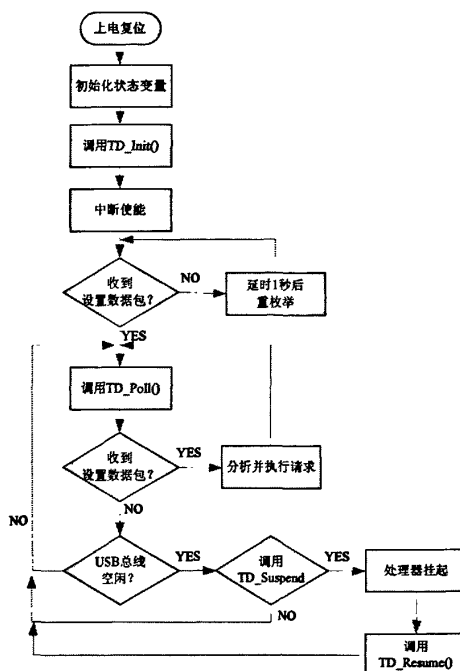
图 4-5 USB 主机与设备端点通信模型

EndPoint0 作为设置和控制端点，接收主机设置和控制命令。主机发送 SETUP 令牌包后，设备接收并将 SETUP 令牌包的 8 个字节放到 SETUPDAT 寄存器中，并触发 SUDAV 中断。设备接收到 SETUP 令牌包后，要检查包数据域的值，非零时要设置端点 0，使之有效。

主机客户端程序有收和发缓冲区，通过驱动程序，可将数据发送到设备的端点，或从设备的端点获取数据。设备通过 EP2 获得主机发过来的数据，主机有数据到达并填到 EP2 时，相应标志位置位，设备固件程序通过查询标志位得

知是否有数据。其中节点数据转发和命令处理在 TD\_Poll()中处理和执行。

检查到达的数据类型，根据协议进行相应处理。



4.3.1.2 固件流程图

## 4.3.2 上位机编程接口

上位机编程接口主要是在 Windows 框架下的编程接口。

首先是驱动程序的支持，本文选择 Cypress 的 USB 通用驱动程序 cyusb.sys。通过封装底层的端口控制函数，创建适合的函数和网关节点通信。cyusb.sys 底层设备端口控制字有：

| 控制字                                   | 说明             |
|---------------------------------------|----------------|
| IOCTL_ADAPT_GET_DRIVER_VERSION        | 获得驱动程序版本       |
| IOCTL_ADAPT_GET_USBDI_VERSION         | 获得当前 USBDI 版本号 |
| IOCTL_ADAPT_GET_ALT_INTERFACE_SETTING | 从设备获得替换配置接口字符串 |
| IOCTL_ADAPT_SELECT_INTERFACE          | 设备设备的接口        |
| IOCTL_ADAPT_GET_ADDRESS               | 获得设备地址         |

|                                       |                |
|---------------------------------------|----------------|
| IOCTL_ADAPT_GET_NUMBER_ENDPOINTS      | 获得得设备端点数目      |
| IOCTL_ADAPT_GET_DEVICE_POWER_STATE    | 获取电源状态         |
| IOCTL_ADAPT_SET_DEVICE_POWER_STATE    | 设置电源状态         |
| IOCTL_ADAPT_SEND_EP0_CONTROL_TRANSFER | 向控制端点发设置数据包    |
| IOCTL_ADAPT_SEND_NON_EP0_TRANSFER     | 控制端点数据收发       |
| IOCTL_ADAPT_CYCLE_PORT                | 重新连接设备         |
| IOCTL_ADAPT_RESET_PIPE                | 复位管道           |
| IOCTL_ADAPT_RESET_PARENT_PORT         | 复位设备           |
| IOCTL_ADAPT_GET_TRANSFER_SIZE         | 获取端点单次传送数据能力大小 |
| IOCTL_ADAPT_SET_TRANSFER_SIZE         | 设置端点单次传送数据能力   |
| IOCTL_ADAPT_GET_DEVICE_NAME           | 获取设备名          |
| IOCTL_ADAPT_GET_FRIENDLY_NAME         | 获取 inf 文件中的设备名 |
| IOCTL_ADAPT_ABORT_PIPE                | 中止当时管道传输       |
| IOCTL_ADAPT_SEND_NON_EP0_DIRECT       | 向非控制端口发送和接收数据  |
| IOCTL_ADAPT_GET_DEVICE_SPEED          | 获取设备传输速度       |

## 4.4 无线定位算法的分析与实现

### 4.4.1 无线定位的基本原理

基于无线传感器网络的定位大致可分为两个步骤：

- (1) 数据采集
- (2) 定位计算

首先是数据的采集，采集的数据用于第二步的数据计算。采集的数据可以为电磁波的信号强度(RSSI)，电磁波信号的接收角度，电磁波信号的到达时间等类型，也可以同时采集多种类型的数据以求达到定位精度的提升。然后节点利用已经获得的数据信息执行定位算法，进而得到未知节点的实际位置。

以基于 RSSI 定位为例，如图 4-5。

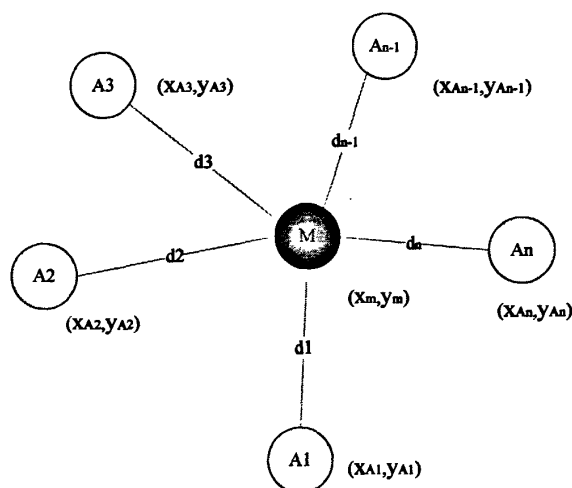


图 4-5 基于 RSSI 的无线定位原理

其中  $M$  为待定位节点， $A_1, A_2, \dots, A_{n-1}, A_n$  为固定节点，是与  $M$  有直接无线通路的节点，其坐标是已知的。待定位节点  $M$  发射强度为  $S_M$  电磁波，与  $M$  有直接无线通路的固定节点都会收到  $M$  发射的电磁波，但与  $M$  距离的不同，所接收的电磁波强度也是不同的，设各固定节点接收到的电磁波强度为  $S_{A1}, S_{A2}, S_{A3}, \dots, S_{A_{n-1}}, S_{A_n}$ 。以固定节点  $A_1$  与  $M$  为例，两节点的相对距离  $d_1$  是电磁波发射强度  $S_M$  与接收强度  $S_{A2}$  函数，即：

$$d_1 = f(S_M, S_{A2}),$$

同理可得到  $d_2, d_3, d_{n-1}$ ，以及  $d_n$ 。

而  $M$  的坐标  $(x_m, y_m)$  是  $d_1, d_2, d_3, d_{n-1}$  和  $d_n$ ，以及  $(x_{A1}, y_{A1}), (x_{A2}, y_{A2}), (x_{A3}, y_{A3}), (x_{A_{n-1}}, y_{A_{n-1}}), (x_{A_n}, y_{A_n})$  的函数，即

$$(x_m, y_m) = f(d_1, d_2, d_3, d_{n-1}, d_n, (x_{A1}, y_{A1}), (x_{A2}, y_{A2}), (x_{A3}, y_{A3}), (x_{A_{n-1}}, y_{A_{n-1}}), (x_{A_n}, y_{A_n}))$$

至此，已得到  $M$  的坐标，即完成了节点的定位。其中与  $M$  有直接无线通路的固定节点的数量  $N$  必须大于等于 3 才可完成定位。多于 3 个时可通过数据冗余来提高定位精度。

本文即采用基于 RSSI 的定位原理进行定位跟踪系统的开发。

#### 4.4.2 定位算法

(1) 基于测距与非基于测距的定位算法。<sup>[27]</sup>

根据定位算法是否需要通过物理测量来获得节点之间的距离（角度）信息，定位算法可分为基于测距的定位算法与非基于测距的定位算法两类。前者利用测量得到的距离或者角度信息进行位置估计计算，而后者则一般利用点与点之间的连通性和多跳路由信息交换等方法来估计节点间的距离或角度，并完成定位估计。基于测距的定位算法总体上在性能上优于非基于测距的定位算法，但在硬件成本和功耗上受到一些限制。在硬件和功耗限制较为苛刻时，非基于测距和定位算法是一种低成本、高效率 and 取代方法。

基于测距的定位算法有：(1) 室内定位系统 Cricket<sup>[28]</sup>、AHLos(Ad-Hoc Localization System)算法<sup>[29]</sup>，(2) 基于 AOA 的 APS 算法(Ad Hoc Positioning System)<sup>[30]</sup>，(3) RADAR 算法<sup>[31]</sup>，(4)LCB 算法(Localizable Collaborative Body)<sup>[32]</sup>，(5) DPE(Directed Position Estimation)算法<sup>[33]</sup>。

非基于测距的定位算法有：(1) 质心算法(Centroid Algorithm)<sup>[34]</sup>，(2) DV-Hop(Distance Vector-Hop)算法<sup>[35]</sup>，(3) 移动导标节点(Mobile Anchor Points, MAP)算法<sup>[36]</sup>，(4) HiRLoc 算法<sup>[37]</sup>，(5)凸规划(Convex Optimization)算法<sup>[38]</sup>，(6)MDS-MAP 算法<sup>[39]</sup>。

## (2) 基于导标节点的定位算法和非基于导标的定位算法。

此种分类方法是通过是否问道于假设网络中存在一定比例的导标节点。前者在定位过程结束后可得相对于某个全局坐标系的坐标，而后者则只能产生相对的坐标。当需要与某全局坐标系保持一致时，可通过引入导标节点的方法，进行坐标系的转换来实现。

## (3) 细粒度定位算法和粗粒度定位算法。

此种分类方法基于定位算法所需信息的粒度。根据接收信号强度，时间，方向以及信号模式匹配等来完成定位过程的算法称之为“细粒度定位算法”。而根据节点的接近度等来完成定位过程的算法称为“粗粒度定位算法”。

## (4) 物理定位算法和符号定位算法。

定位算法可以提供两种类型的定位结果，即物理位置和符号位置。根据定位结果可将定位算法分为物理定位算法和符号定位算法。在一定条件下，此两种定位算法的结果是可以相互转换的。

## (5) 递增式定位算法和并发式定位算法。

根据计算节点位置的先后顺序可以将定位算法分为递增式定位算法和并发式定位算法。递增式定位算以通常是从 3 到 4 个节点开始，然后根据未知节点

与已经完成定位节点之间的距离或角度等信息采用简单的三角法或局部最优策略逐步对未知节点进行位置估计。并发式定位算法则是节点以并发的方式同时开始计算位置。

4.4.3 基于 CC2431 的定位

基于 CC2431<sup>[40]</sup>的无线网络定位应该包括三类节点：定位节点、参考节点和网关节点。网关节点也可以作为参考节点。网关节点通过串口与 PC 机相连用来接收网络中发回的数据。定位节点即移动节点，在参考点包围的区域内任意移动，通过接收定位区域内所有参考节点的 RSSI 值后，经过定位算法来计算移动节点的坐标。定位节点必须是 CC2431。

网络的建立必须有一个协调器，协调器可由网关节点实现。下面为协调器的流程图。

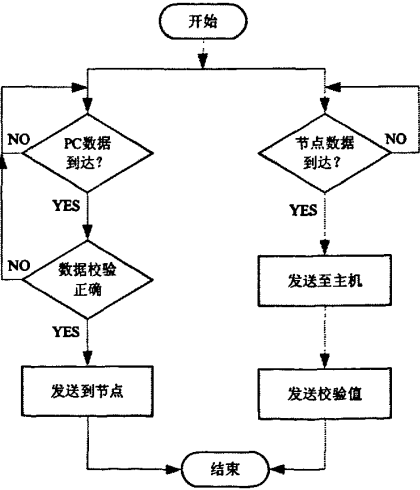


图 4-6 协调器流程图

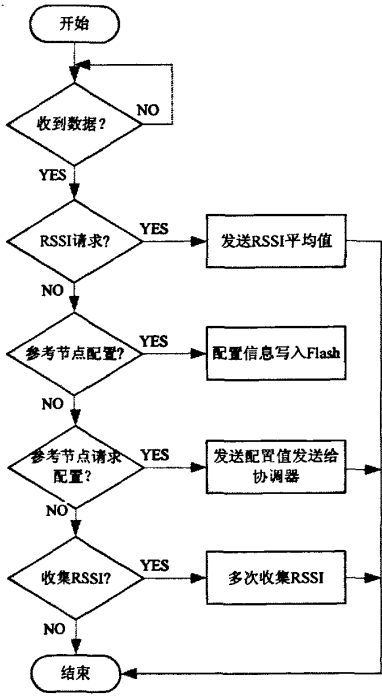


图 4-7 参考节点流程图

参考节点的坐标位置是已经知的，且并不参与计算，只是测量无线电波的接收功率，并发回移动节点计算。参考节点一般为 8 个，最少为 3 个。参考节点流程图如图 4-7。

移动节点通过接收定位区域内所有参考节点的 RSSI 值后，经过定位算法计算自身的坐标。定位节点的工作流程图如图 4-8。

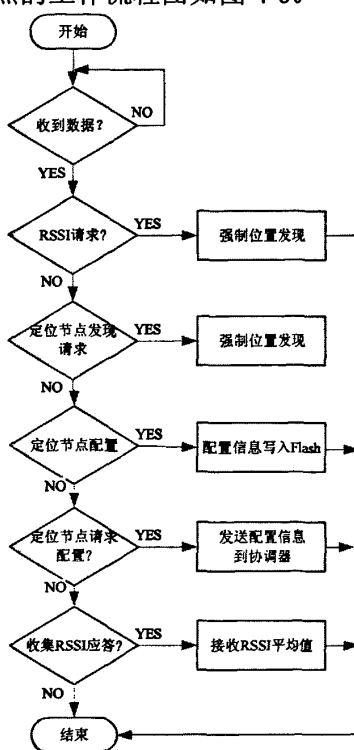


图 4-8 定位节点流程图

使用 Z-Location Engine CC2431<sup>[41]</sup>观察各节点位置和参数。如图 4-9 所示。

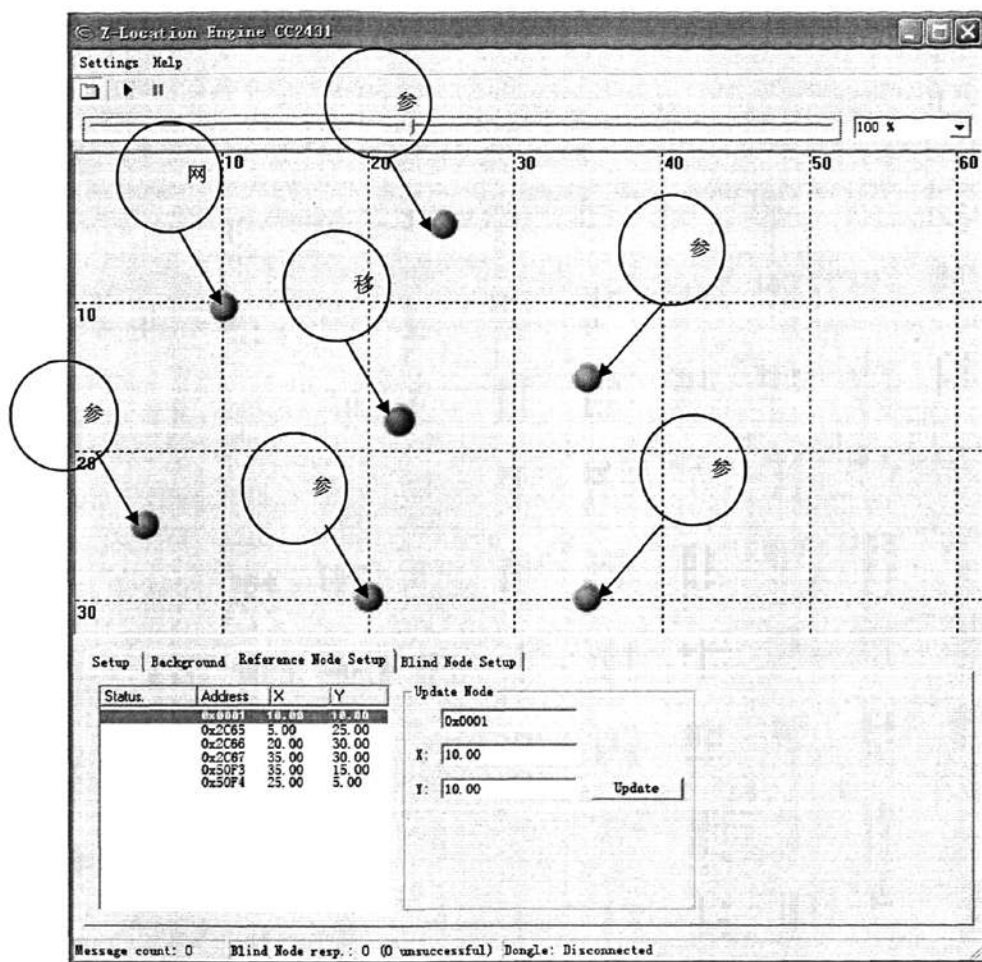


图 4-9 CC2431 定位演示<sup>[42]</sup>

## 第 5 章 总结与展望

### 5.1 总结

本文对基于 ZigBee 传感器网络及定位算法进行了概述，提出了一种基于 ZigBee 网络的无线定位跟踪系统的架构，重点对系统的硬件和软件进行了分析与设计，并实现了基本的功能：节点间的通信，基本的组网及定位功能。

在硬件设计方面，重点放在功能的实现上。在本课题的设计及实验调试过程中，由于时间和条件等限制，加之是一种比较新颖的无线技术，作者知识和实践经验不足，不可避免的，本系统存在一些不足，不足之处和一些后续的工作想法如下：设计中只考虑了、芯片、电源等主要和基本的模块，此硬件系统能够实现满足无线通信的硬件基本要求。但比如将此模块应用在一些数据采集或需要复杂控制的应用场合，就需要在本硬软系统中加入相应的传感器模块，在功耗和稳定性方面也需要做更深地考虑与设计，这些以后的工作中应该要完善的地方。

软件的开发主要分为四个层次，分别为：硬件抽象，操作系统和驱动程序，ZigBee 协议栈，应用程序。协议栈软件开发大体上也可分为四个层次：应用层、网络层、MAC 层、物理层。网络实现了双向无线通信，支持星型拓扑结构等基本功能，并实现了基于 CC2431 的定位实验。但由于时间和经验等问题，系统软件应用层面上的设计和编程还可有进一步完善的地方。

### 5.2 展望

本文虽然对基于技术的无线传感器网络做了一些研究，达到了最初设计要求，但是仍然存在着不足和一些问题有待进一步研究。随着技术的发展，肯定会出现更好的解决方案。如 UWB 技术，在不增加太多成本的情况下，可将定位的精度和速度提高很多。在电能的获取方面，应该是多种多样了，以达到节点使用寿命的最大化。在带宽方面，虽然 CC2430/CC2431 提供了较高的带宽，但仍显不足，如在视频传输上，根本无法应用。在接口方面，只集成了 USB 接口，应该可以有更多的接口被支持，如以太网，红外等，以支持更多的设备去监视和控制无线传感器网络。

## 结 论

本文研究基于 ZigBee 无线定位跟踪系统的设计与实现，提出了一种无线定位跟踪系统平台的架构。基于此平台的无线传感器网络，具有成本低，性能稳定，软件资源丰富，可扩展性强等特点，为无线传感器网络应用设计工作人员提供了良好的硬件和软件平台基础。

文中对研究了无线传感器网络中常用的定位方法，定位跟踪系统关键技术及理论支持，包括无线定位的基本原理，常用的定位算法，系统所使用的天线的要求，系统使用的无线网络协议等做了技术和理论性的分析。使得定位跟踪系统硬件平台有良好的理论技术支撑。

USB 接口已广泛应用，本系统创造性将 USB 接口加入到无线传感器网络的网关节点上去，扩展了系统应用范围。随着 USB OTG 技术的发展，其应用范围会进一步扩展。

## 致 谢

首先感谢我的导师李方敏教授，为我课题的开展提供了良好的学习环境和实验平台。基于 CC2430/CC2431 的节点 PCB 板开发，曾失败过两次，但李老师一直在支持我的开发，最终做出了性能良好的基于 CC2430/CC2431 的无线传感器网络节点。

感谢忆正存储(武汉)有限公司，为我提供关于 USB 方面的培训和开发指导。

## 参考文献

- [1] 瞿雷, 刘盛德, 胡咸斌. ZigBee 技术及应用. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007:313-347
- [2] Liu KeZhong, Wang Shu, Hu Fuping, et al. Wireless Sensor Networks Solution for Space Environmental Monitoring[C]. In Proceeding of the Spie 5985, Nov. 2005: 59854R-1~59854R-5
- [3] Chong C-Y, Kumar S P. Sensor Networks:Evolution,Opportunities, and Challenges[C].In Proceeding of the IEEE, 2003 91(8):1247-1256
- [4] 周涛 基于技术的无线传感器网络平台的设计与研究 新疆大学硕士学位论文 2009
- [5] CC2420 Datasheet [www.chipcon.com](http://www.chipcon.com)
- [6] CC2430/CC2431 Datasheet [www.chipcon.com](http://www.chipcon.com)
- [7] CC2430/CC2431 Datasheet [www.chipcon.com](http://www.chipcon.com)
- [8] Universal Serial Bus Specification Revision 2.0 April 27, 2000 [www.usb.org](http://www.usb.org)
- [9] EZ-USB Technical Reference Manual Cypress Semiconductor [www.cypress.com](http://www.cypress.com)
- [10] CY7C68013A Datasheet Cypress Semiconductor [www.cypress.com](http://www.cypress.com)
- [11] FX2\_GPIF\_Primer Cypress Semiconductor [www.cypress.com](http://www.cypress.com)
- [12] 邱金燕 无线传感器网络节点天线研究与实现 国防科学技术大学硕士学位论文 2008
- [13] 汪梅芳 单极天线的设计与研究 兰州大学硕士学位论文 2009
- [14] 苏令永 无线传感器网络硬件平台的研究与实现 山东大学硕士学位论文 2008
- [15] 林瑜 王家能 陈贻焕 高速 PCB 板的电磁兼容设计[J] 现代电子技术, 2005.15:110-112
- [16] 周润景 袁伟亭 Cadence 高速电路板设计与仿真(第 2 版), 电子工业出版社 2007 年 9 月:
- [17] ZigBee Alliance.ZigBee specification[S].ZigBee Document Report from ABI Research 2005,Document code RR-05347r06,San Ramon,CA,USA,and June 27,2005.
- [18] IEEE802.15.4 2003 Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specification for Low Rate Wireless Personal Area Networks.
- [19] ZigBee Alliance.ZigBee specification[S].ZigBee Document Report from ABI Research 2005,Document code RR-05347r06,San Ramon,CA,USA,and June 27,2005.
- [20] 吕治安. ZigBee 网络原理与应用开发 北京航空航天大学出版社 2008 年 2 月: 104-204

- [21] 任秀丽, 于海斌. ZigBee 无线通信协议实现技术的研究. 北京: 计算机工程与应用, 2007, 43(6): 143-145
- [22] 顾瑞红, 张宏科. 基于 ZigBee 的无线网络技术及其应用. 电子技术应用, 2005:101-124
- [23] Drew Gislason Zigbee Wireless Networking[M]. Elsevier Science and Technology Books, 2008:111-200
- [24] 王东, 张金荣, 等 利用 ZigBee 技术构建无线传感器网络[J] 重庆大学学报 2006,29(8):95-110
- [25] 李方仲 段朝玉 Zigbee 无线网络技术入门与实现[M] 北京: 北京航空航天大学出版社 2007: 24-35
- [26] Cypress Semiconductor EZ-USB Technical Reference Manual [www.cypress.com](http://www.cypress.com)
- [27] 王殊 阎毓杰 胡富平 屈晓旭 编 无线传感器网络的理论及应用 北京航空航天大学出版社 2007 年 7 月第 1 版:145-146
- [28] Priyantha N, Chakraborty A, Balakrishnan H. The Cricket Location- Support System[C]. In Proceeding of International Conference on mobile Computing and Networking, Aug. 2000:32-43
- [29] Savvides A C, Han M, Srivastava B. Dynamic Fine-grained Localization in Ad-Hoc Networks of sensors[C]. In Proceeding of the 7th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and networking, July 2001:166-179
- [30] Niculescu D, Nath B. Ad Hoc Positioning System (APS) Using AoA[C]. In proceeding of the 22th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, San Francisco, CA, March 2003,3. :1734-1743
- [31] N ahl P, Venkata N. Padmanabhan, RADAR: An in-Building RF-based User Location and Tracking System[C]. In Proceeding of the 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Tel Aviv , Israel, March 2000:775-784
- [32] Wand Shu, Liu Kezhong , Hu Fuping, et al. A Distributed Sensor Network Localization Scheme motivated by Graph Rigidity Theory[J]. The Mediterranean Journal of Measurement and Control, 2005:185-190
- [33] De Oliveira H A B F, Nakamura E F, Loureiro A A F, et al. Directed Position Estimation: a Recursive Localization Approach for Wireless Sensor Networks[C]. In proceeding of 14th International Conference on Computer Communications and Networks, October 2005:557-562
- [34] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-Less Low Cost Outdoor Localization for Very Small devices[J], IEEE Personal Communications October 2000:28-34
- [35] Niculescu D, Nath B. DV based Positioning in Ad Hoc Networks[J], Journal of Telecommunication System, 2003:267-280

- [36] Ss K-F, Ou C-H ,Jiau H C. Location with Mobile Anchor Points In Wireless Sensor Networks[J], IEEE transaction on Vehicular Technology , May 2005:1187-1197
- [37] Lazos L, Poovendran R. HiRLoc: High-Resolution Robust localization for Wireless Sensor Networks[J],IEEE Journal on Selected Areas in communication 2006:233-246
- [38] Doherty Lm Pister K S J, Ghaoui L E. Convex Position Estimation in Wireless Sensor Networks[C]. In Proceeding of Joint Conference of the IEEE computer and Communications Societies, April 2001,3:1655-1663
- [39] Shang Y, ruml W, Zhang Y, et al.Localization From Mere Connectivity[C].In Proceeding of the 4th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, Annapolis,MA USA, 2003:201-212
- [40] 张转成 基于 CC2431 的无线传感器网络节点的研究 中国科学技术大学硕士学位论文 2009
- [41] CC2431 System on Chip for 2.4 GHz ZigBee /IEEE 802.15.4 with Location Engine. [Http://www.chipcon.com](http://www.chipcon.com) 或 [www.ti.com](http://www.ti.com)
- [42] CC2431DK Development Kit User Manual Rev. 1.5 [Http://www.chipcon.com](http://www.chipcon.com) 或 [www.ti.com](http://www.ti.com)