

项目 1 搭建无线传感器网络开发环境

无线传感器网络是物联网领域中一种非常重要的无线通信网络,它被广泛应用在军事、航空、防爆、救灾、医疗、保健、家居、工业、商业等领域。

通过本项目的学习,可实现无线传感器网络开发环境的搭建,即硬件平台的搭建和软件平台的搭建,并调试点亮开发板上的 LED 灯;通过搭建开发环境,掌握无线传感器网络、ZigBee 技术、CC2530 芯片等核心概念和器件。

项目任务

- 任务 1 硬件平台的搭建
- 任务 2 软件平台的搭建
- 任务 3 开发环境调试及应用

项目目标

- 掌握无线传感器网络开发环境的搭建。
- 掌握无线传感器网络开发环境的调试及使用。
- 掌握无线传感器网络应用系统开发流程。

任务 1 硬件平台的搭建

任务目标

完成无线传感器网络硬件平台的搭建。

任务内容

- ZigBee 芯片选型。
- ZigBee 核心板的构建。
- ZigBee 功能底板的构建。
- ZigBee 仿真器及配件选型。

 任务实施

一、实验准备

装载有 Altium Designer 10 及以上版本软件的计算机。

二、实验实施

第一步：ZigBee 芯片选型

本书选用 CC2530 作为开发板核心处理芯片。

CC2530 属于 CC253× 系列,是最常见的 ZigBee 系列芯片之一。除此之外,常见的 ZigBee 系列芯片还有 CC243× 系列、MC1322× 系列。本书重点介绍和使用 CC253× 系列芯片。

CC253× 系列的 ZigBee 芯片主要是 CC2530/CC2531,它们是 CC2430/CC2431 (CC243× 系列)的升级,在性能上要比 CC243× 系列更加稳定。CC253× 系列芯片是广泛使用于 2.4GHz 片上系统(System on a Chip, SoC)的解决方案,建立在基于 IEEE 802.15.4 标准之上。CC253× 片上系统家族主要包括 4 种产品:CC253×-F32、CC253×-F64、CC253×-F128、CC253×-F256,它们的区别主要在于内置闪存的容量不同,可以针对不同 ZigBee 应用做不同的成本优化。

CC253× 系列芯片大致由三种类型的模块组成:CPU 和内存相关的模块,外设、时钟和电源管理相关的模块,以及无线电相关的模块。

1. CPU 和内存

CC253× 系列使用的 8051CPU 内核是一个单周期的 8051 兼容内核,它有 3 个不同的存储器访问总线(SFR、DATA 和 CODE/XDATA),分别可以以单周期访问 SFR、DATA 和 SRAM;它还包括一个调试接口和一个中断控制器。

中断控制器提供了 18 个中断源,分为 6 个中断组,每个中断组与 4 个中断优先级相关。当设备处于空闲模式,任何的中断可以把 CC2530 恢复到主动模式,一些中断还可以将设备从睡眠模式唤醒。

内存仲裁器位于系统中心,因为它通过 SFR 总线把 CPU 和 DMA 控制器同物理存储器和所有外设连接起来。内存仲裁器有 4 个存取访问点,通过访问它们可以映射到 3 个物理存储器之一,即 SRAM、闪存存储器和 XREG/SFR 寄存器。内存仲裁器负责执行仲裁,为同时访问同一个物理存储器的多个访问请求排序。

4/6/8KB SRAM 映射到 DATA 存储空间和 XDATA 存储空间的某一部分。8KB 的 SARM 是一个超低功耗的 SRAM,甚至在低功耗运行模式下(PM2/PM3)也能够保留自己的内容,这对于低功耗应用来说是一个很重要的特征。

32/64/128/256KB 闪存块为设备提供了可编程的非易失性程序存储器,映射到

CODE 和 XDATA 存储空间。除了保存程序代码和常量,非易失性程序存储器还允许应用程序保存必须保留的数据,这样在设备重新启动之后可以使用这些数据。例如,可以使用已经保存的网络具体数据,就不需要经过完整的启动、网络寻找和加入过程。

2. 时钟和电源管理

CC253×系列芯片内置一个 16MHz 的 RC 振荡器,外部可连接 32MHz 外部晶振。CPU 内核和外设由一个 1.8V 低压稳压器供电。另外,CC253×包括一个电源管理的功能模块,可以允许在低功耗应用中使用不同的低功耗运行模式(PM1、PM2 和 PM3),以延长电池的使用寿命。有 5 种不同的复位源来复位设备。

3. 外设

CC253×系列芯片有许多不同的外设,允许应用程序设计者开发先进的应用。这些外设包括调试接口、I/O 控制器、两个 8 位的定时器、一个 16 位的定时器、一个 MAC 定时器、ADC、AES 协处理器、看门狗电路、两个串口和 USB 全速控制器(仅限 CC2531)。

4. 无线电

CC253×系列芯片提供了一个与 IEEE 802.15.4 标准兼容的无线收发器。RF 内核控制模拟无线模块。另外,它提供了 MCU 和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。

【理论学习：核心定义概述】

1. 无线传感器网络

无线传感器网络(wireless sensor networks, WSN)是大量的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,其目的是用于感知、采集和处理传输网络覆盖地理区域内被感知对象的监测信息,并报告给用户。

无线传感器网络的应用一般不需要很高的带宽,但对功耗要求却很严格,大部分时间必须保持低功耗。传感器节点通常使用存储容量不大的嵌入式处理器,对协议栈的大小也有严格的限制。另外,无线传感器网络对网络安全性、节点自动配置和网络动态重组等方面也有一定的要求。无线传感器网络的特殊性对应用于该技术的协议提出了较高的要求。目前,使用最广泛的无线传感器网络的物理层和媒体访问控制层的协议为 IEEE 802.15.4 标准。

基于上述特点,当前市场中无线传感器网络的开发、应用与 ZigBee 技术紧密结合在一起。

2. ZigBee

ZigBee 是一种基于 IEEE 802.15.4 标准的低功耗的无线个人局域网的协议。ZigBee

名字起源于蜜蜂之间传递信息的方式。蜜蜂在发现花丛后会通过一种特殊的肢体语言来告知同伴新发现的食物源的位置等信息,这种肢体语言就是 zigzag(Z字形的)舞蹈,这是蜜蜂之间的一种简单的传递信息的方式,蜜蜂用这样的方式在群体中构成了通信网络。

在 ZigBee 的概念中涉及 IEEE 802.15.4 标准,此标准是由 IEEE 802.15 工作组制定的。IEEE 802.15 工作组成立于 1998 年,它专门从事 WPAN(wireless personal area network)的标准化工作,即为无线个人局域网开发无线通信标准。

IEEE 802.15 工作组共有 4 个任务组(task group, TG),分别制定适合不同应用的标准。其中,任务组 TG4 针对低速率无线个人局域网制定了 IEEE 802.15.4 标准,该标准描述了低速率无线个人局域网的物理层和媒体访问控制层的协议。

ZigBee 的体系结构从下到上分别为物理层(PHY)、媒体访问控制层(MAC)、网络层(NWK)和应用层(APL)。其中,IEEE 802.15.4 标准定义了物理层和媒体访问控制层的协议,ZigBee 联盟则在此基础上对网络层和应用层的协议进行了标准化。

因此,ZigBee 是一种基于 IEEE 802.15.4 标准的低功耗的无线个人局域网的协议。简而言之,ZigBee 是一种无线网络协议。

3. ZigBee 技术

遵照 ZigBee 协议发展起来了一种新的无线通信技术——ZigBee 技术。ZigBee 技术是一种近距离、低复杂度、低功耗、低速率、低成本的双向无线通信技术,它主要用于在近距离、低功耗且传输速率不高的各种电子设备之间进行数据传输,典型数据类型有周期性数据、间歇性数据和低反应时间数据的传输。

简单来说,ZigBee 技术可以提供一种高可靠的无线数传网络,类似于 CDMA 和 GSM 网络。ZigBee 数传模块类似于移动网络基站,通信距离从标准的 75m 到几百米、几千米,并且支持无限扩展。ZigBee 技术理论上可以支持由多达 65535 个无线数传模块组成的一个无线数传网络。在整个网络范围内,ZigBee 网络数传模块之间可以相互通信。

每个 ZigBee 网络节点不仅本身可以作为监控对象,例如,对其所连接的传感器直接进行数据采集和监控,还可以自动中转别的网络节点传过来的数据资料。除此之外,每一个 ZigBee 网络节点还可以在自己信号覆盖的范围内与多个不承担网络信息中转任务的孤立的子节点进行无线连接。

ZigBee 技术是基于无线连接的,可以分别工作在 2.4GHz(全球流行)、868MHz(欧洲流行)和 915MHz(美国流行)这 3 个频段上,并且在这 3 个频段上分别具有最高可达 250kb/s、20kb/s 和 40kb/s 的传输速率,它的传输距离范围在 10~75m,并且可以继续增加。作为一种无线通信技术,ZigBee 技术具有如下特点。

- 功耗低: ZigBee 传输速率低,发射功率仅为 1mW,并且采用了休眠模式,因而功耗低,因此,ZigBee 设备非常省电。据估算,ZigBee 设备仅靠两节 5 号电池就可以维持长达 6 个月到 2 年的使用时间,这是其他无线设备无法企及的。
- 成本低: ZigBee 模块的初始成本在 6 美元左右,估计很快就能降到 1.5~2.5 美元,并且 ZigBee 协议是免专利费的。低成本对于 ZigBee 技术来说是一个非常重要的发展优势。

- 时延短：ZigBee 技术的通信时延和从休眠状态激活的时延都非常短，典型的搜索设备的时延为 30ms，休眠激活的时延为 15ms，活动设备信道接入的时延为 15ms。因此，ZigBee 技术比较适用于对时延要求相对苛刻的无线控制应用场合（如工业控制）。
- 网络容量大：ZigBee 技术支持星形、树形和网状的网络拓扑结构，可以由一个主节点管理若干个子节点。一个主节点最多可以管理 254 个子节点，同时主节点还可以由上一层网络的节点管理。
- 可靠：采取了碰撞避免策略，同时为需要固定带宽的通信业务预留了专用时隙，避开了发送数据的竞争和冲突。数据访问控制层采用了完全确认的数据传输模式，每个发送的数据包都必须等待接收方的确认信息。如果在传输过程中出现了问题，可以进行重发。
- 安全：ZigBee 提供了基于循环冗余校验(CRC)的数据包完整性检查功能，支持鉴权和认证，采用了 AES-128 的加密算法，各个应用可以灵活地确定其安全属性。

ZigBee 是为低速无线个人局域网而开发的通信协议，随着 ZigBee 2007 协议的逐渐成熟，ZigBee 技术开始在智能家居物联网和商业楼宇自动化方面具有较大的应用前景。ZigBee 技术的出现较好地弥补了低成本、低功耗和低速率的无线通信市场的空缺，在以下场合可以考虑采用 ZigBee 技术。

- 需要进行数据采集和控制的节点较多。
- 应用对数据传输速率和成本要求不高。
- 设备需要电池供电几个月的时间，且设备体积较小。
- 野外布置网络节点，进行简单的数据传输。

目前，ZigBee 技术的应用领域主要有智能家居物联网、商业楼宇自动化、工业和农业的无线监测、智能交通、智能医疗、消费电子、户外作业及地下矿场安全监护等，如图 1-1 所示。

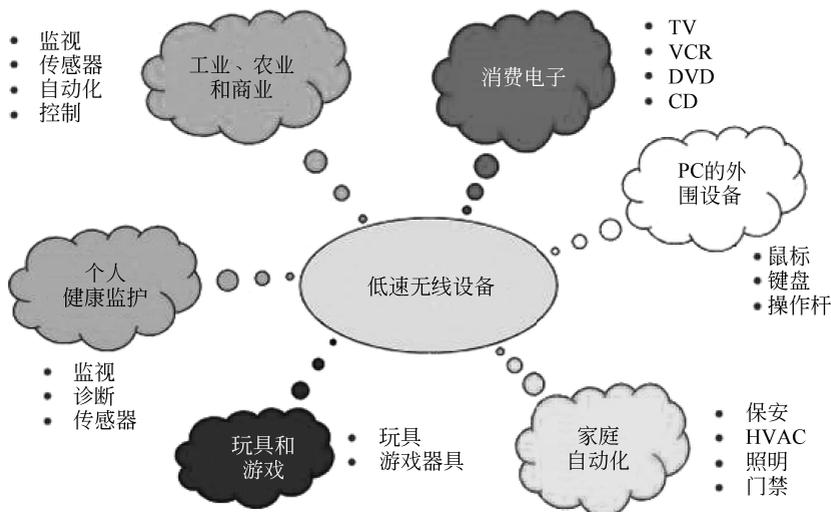


图 1-1 ZigBee 应用领域

4. ZigBee 联盟

ZigBee 联盟是一个高速成长的非营利业界组织,成员包括国际著名半导体生产商、技术提供者、技术集成商及最终使用者(包括艾默生、飞思卡尔半导体、飞利浦、施耐德电气、德州仪器等)。联盟基于 IEEE 802.15.4 标准制定了具有高可靠性、高性价比、低功耗的网络层和应用层的 ZigBee 使用规则。

ZigBee 联盟的主要目标是以通过加入无线网络功能,为消费者提供更富有弹性、更容易使用的电子产品。ZigBee 技术能够融入各类电子产品,应用范围横跨全球的民用、商用、公共事业及工业等市场,这使联盟会员可以利用 ZigBee 这个标准化无线网络平台,设计出简单、可靠、便宜又节省电力的各种产品。

ZigBee 联盟锁定的焦点如下。

- 制定网络、安全和应用软件层。
- 提供不同产品的协调性及互通性测试规则。
- 在世界各地推广 ZigBee 品牌并争取市场的关注。
- 管理技术的发展。

要使用图 1-2 所示的 ZigBee 联盟标识的产品,必须首先进行 ZigBee 的项目认证,只有通过了 ZigBee 认证的产品才可以使用 ZigBee 标识,这就确保了该产品符合在 ZigBee 规范里的标准描述。



图 1-2 ZigBee 联盟

5. 无线传感器网络与 ZigBee 技术的关系

无线传感器网络的应用一般不需要很高的带宽,但对功耗要求却很严格,大部分时间必须保持低功耗。传感器节点通常使用存储容量不大的嵌入式处理器,对协议栈的大小也有严格的限制。另外,无线传感器网络对网络安全性、节点自动配置和网络动态重组等方面也有一定的要求。无线传感器网络的特殊性对应用于该技术的协议提出了较高的要求。目前,使用最广泛的无线传感器网络的物理层和媒体访问控制层的协议为 IEEE 802.15.4 标准。

无线传感器网络与 ZigBee 技术之间的关系可以从两个方面来分析:一是协议标准;二是应用。具体的关系可以描述如下。

从协议标准上讲:目前大多数无线传感器网络的物理层和数据访问控制层都采用 IEEE 802.15.4 协议标准。IEEE 802.15.4 标准描述了低速率无线个人局域网的物理层和媒体访问控制层的协议,属于 IEEE 802.15 工作组。而 ZigBee 技术正是基于 IEEE 802.15.4 标准的无线通信技术。

从应用上讲:ZigBee 技术适用于通信数据量不大,数据传输速率相对较低,成本较低的便携式或移动设备。这些设备只需要很少的能量,以接力的方式通过无线电波将数据从一个传感器传送到另外一个传感器,并能实现传感器之间的组网,体现无线传感器网络分布式、自组织和低功耗的特点。

从以上两个方面来讲,ZigBee 技术是可用于实现无线传感器网络应用的一种重要技术。

第二步：ZigBee 核心板的构建

ZigBee 核心板的实物图如图 1-3 所示。

ZigBee 核心板的功能特点如下：体积小（尺寸为 3.6cm × 2.8cm），重量轻，引出全部 I/O 口，采用标准 2.54 排针接口；可直接应用在万用板或自制 PCB 上；模块使用 2.4GHz 全向天线，可靠传输距离高达 250m，自动重连距离高达 110m。

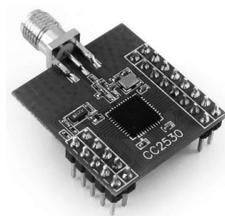


图 1-3 ZigBee 核心板

【理论学习：ZigBee 核心板电路】

图 1-4 所示为 CPU 核心电路，包含了晶振以及电源部分。其中 32.768kHz 晶振提供 CPU 工作的 RTC 外部时钟源，32MHz 晶振提供 CPU 工作的外部震荡源。当启用无线功能时，必须使用 32MHz 外部晶振。

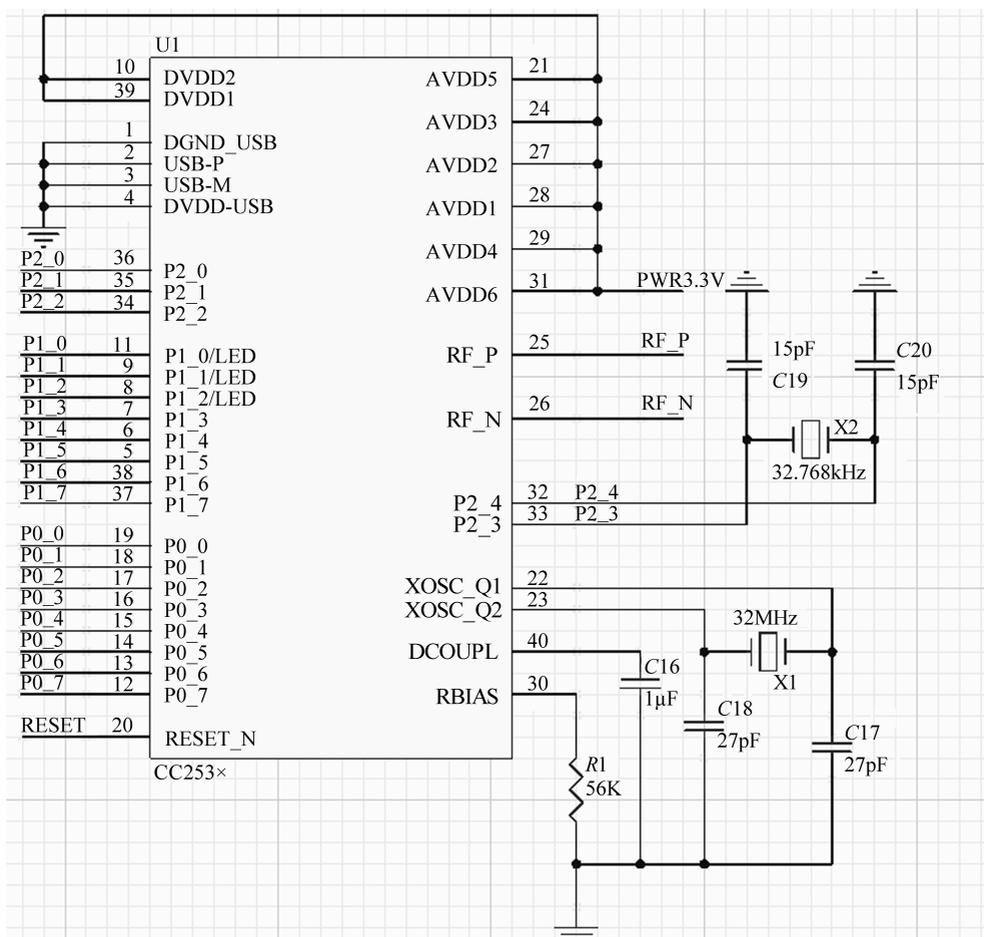


图 1-4 CPU 核心电路

图 1-5 所示电路为核心板电源滤波电路，用于提高 CPU 工作的抗干扰性能。

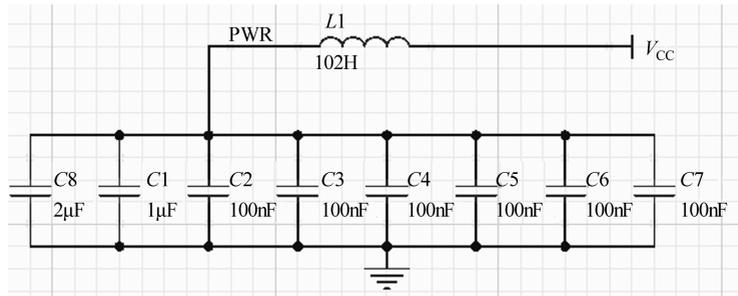


图 1-5 电源滤波

图 1-6 所示电路为核心板天线电路,提供一个标准 SMA 天线接口,供外接天线使用。

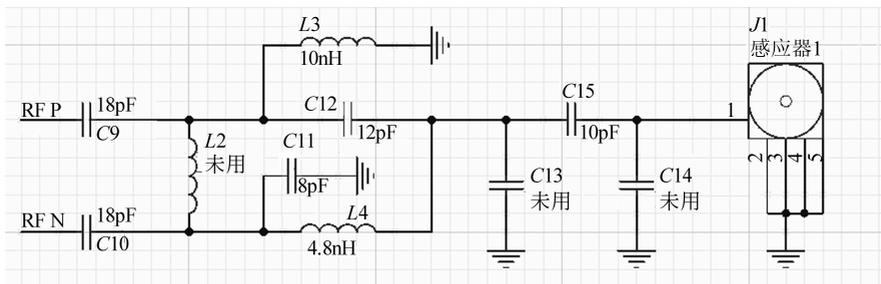


图 1-6 天线引线

第三步：ZigBee 功能底板的构建

ZigBee 功能底板的实物图如图 1-7 所示,ZigBee 功能底板的结构如下。

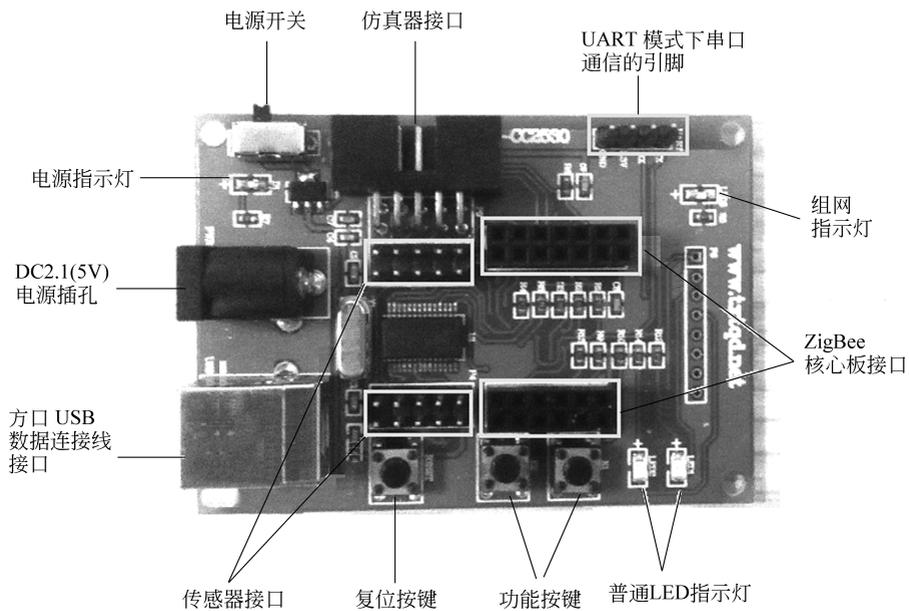


图 1-7 CC2530 底板

- 尺寸：7cm×5cm。
- 供电方式：通过 DC2.1(5V)电源接口或方口 USB 数据连接线供电。
- 串口通信方式：自带 USB 转串口功能,可通过接口 USB 数据连接线与主机进行串口通信;此外,还引出了 UART 模式下串口通信时使用的 TX、RX、3.3V 和 GND 引脚。
- 功能接口：仿真器接口,兼容 TI 标准仿真工具,引出 3.3V、GND、RST 引脚及 SPI 模式下串口通信时使用的所有引脚;传感器接口,引出所有采集信号的引脚及许多其他重要的引脚。
- 功能按键：1 个复位按键,2 个普通按键。
- LED 指示灯：1 个电源指示灯、1 个组网指示灯和 2 个普通指示灯。
- 核心模块支持：ZigBee 核心板。
- 传感器模块支持：DS18B20 温度传感器、DHT11 温湿度传感器等。

【理论学习：ZigBee 功能底板图纸】

图 1-8 所示底板原理图共包含外部接口、USB 转串口、键盘 LED 等人机接口及电源管理 4 部分,各部分详细功能将在后续项目中详细介绍。

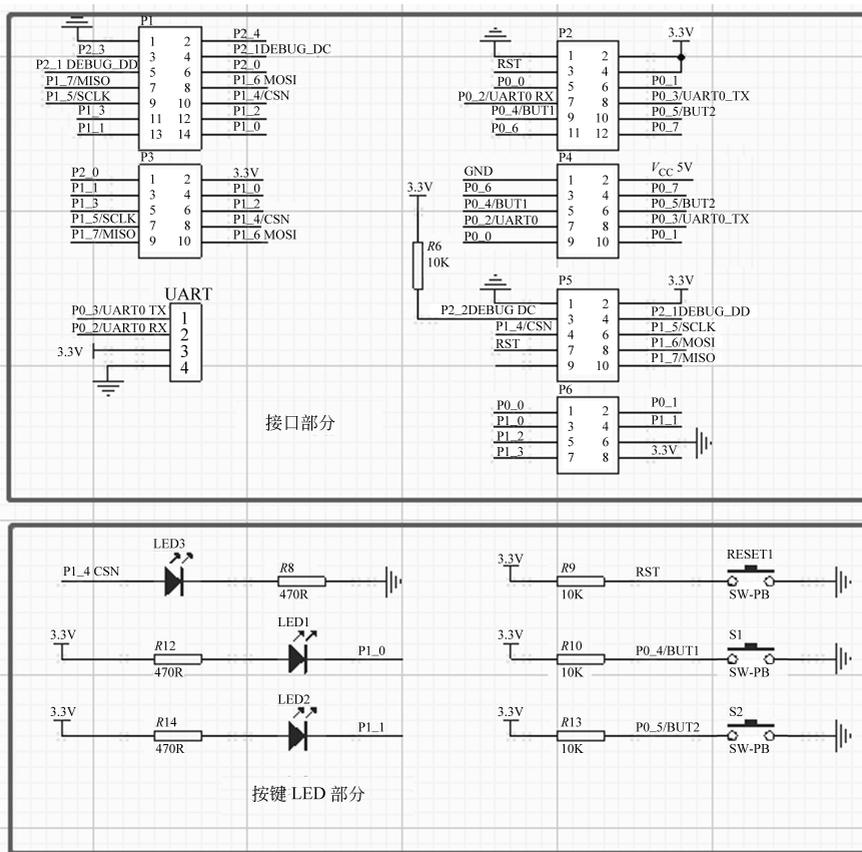


图 1-8 底板原理图

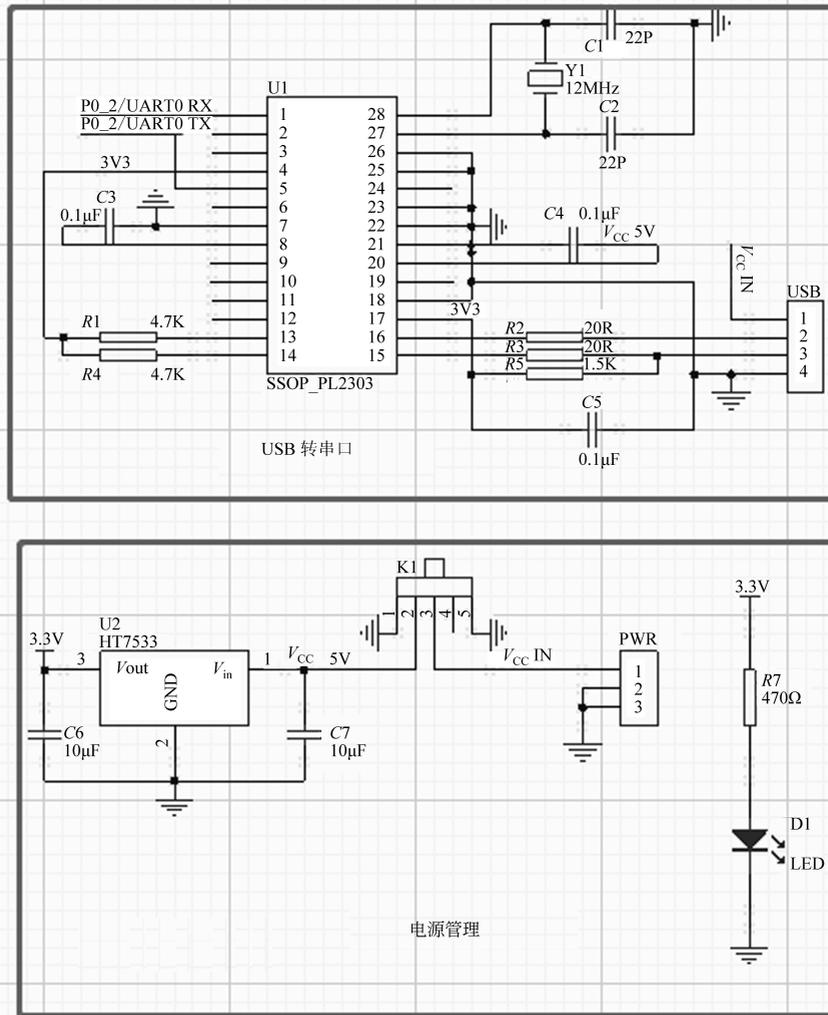


图 1-8(续)

第四步：ZigBee 仿真器及配件选型

选用 SmartRF04EB 仿真器。SmartRF04EB 仿真器及其相关数据连接线的实物图如图 1-9 所示。



图 1-9 SmartRF04EB 仿真器及数据连接线