



无线传感器网络

主讲教师：章阳
课件制作/版权：许毅
计算机科学与技术学院





第2章WSN开发环境

学习目标

- ◆ 掌握WSN平台硬件设计
- ◆ 理解WSN的操作系统
- ◆ 了解现代WSN典型实验平台
- ◆ 掌握ZigBee硬件平台





2.1 概述

国内目前在无线传感器网络软件、硬件方面都相应的发展，在基于国际标准、操作系统之上，已研发了自己的硬件平台、中间件软件。

无线ZigBee传感器网络系统主要由**计算机**、**网关**、**路由节点**和**网络节点**等组成。用户可以很方便的实现传感器网络的无线化、网络化、规模化的演示、观测和二次开发。





2.2 WSN平台硬件设计

2.2.1 系统结构图

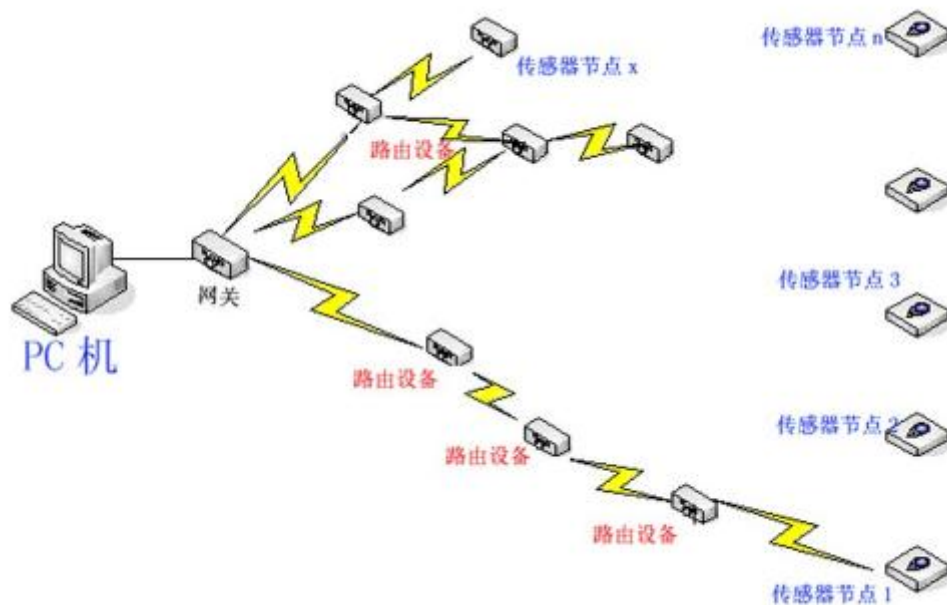


图2-1传感器网络系统结构





2.2.1 系统结构图（继）

简单的工作流程描述如下图2-2所示

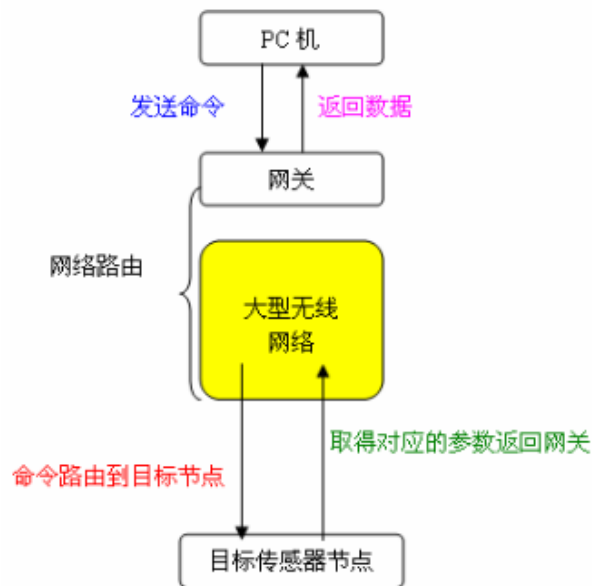


图2-2 工程流程





2.2.2节点设计与要求

1.节点的设计要求

根据应用环境的不同，传感器网络对节点的精度、传输距离、使用频段数据收发效率和功耗等提出了不同的要求，要求搭建相应的硬件系统和软件系统，使节点能够持续、可靠和有效地工作，其传感器节点的设计主要要求如下：

- (1)微型化。**
- (2)低功耗。**
- (3)低成本。**
- (4)稳定性和安全性。**
- (5)扩展性和灵活性。**

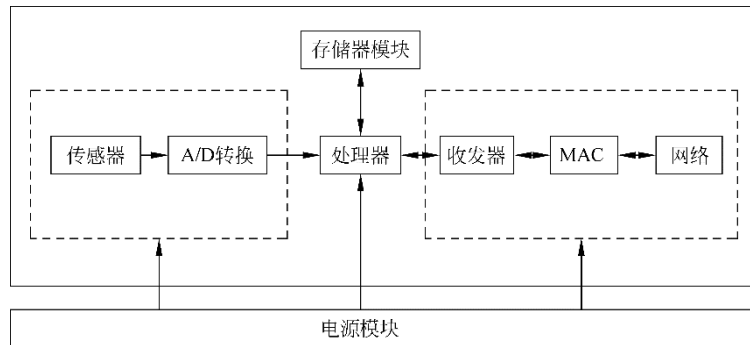




2.2.2节点设计与要求(继)

2. 节点硬件设计内容

传感器节点的硬件平台结构如图2-3所示。传感器节点一般由数据处理模块、存储模块、无线通信模块、传感模块和电源模块等五个部分组成。数据处理模块是结点的核心模块，用于完成数据处理、数据存储、执行通信协议和结点调度管理等工作；存储模块主要完成存储处理器转送的数据；无线通信模块主要完成信道上发送和接收信息；传感器模块主要采集监控或观测区域内的物理信息；电源模块主要为各个功能模块提供能量





2.2.3 节点的模块化设计

1. 处理器模块

处理器模块是无线传感器网络节点的核心部件，微处理器选型应满足如下四方面要求：

- (1) 体积尽量小，
- (2) 集成度尽可能高，
- (3) 功耗低且支持休眠模式
- (4) 运行速度快

从处理器的角度来看，传感器网络结点基本可以分为三类：

第一类采用以ARM处理器为代表的高端处理器；

第二类是以采用低端微控制器为代表的结点；

第三类是数字信号处理器。





2.2.3节点的模块化设计（继）

2.存储模块

存储器主要包括随机存储器（**RAM**）和只读存储器（**ROM**）。**RAM**可以分为**SRAM**、**DRAM**、**SDRAM**、**DDRAM**等几类；**ROM**又可分为**NOR Flash**、**EPROM**、**EEPROM**、**PROM**等几类。**RAM**存储速度较快，但断电后会丢失数据，一般用于保存即时信息，如传感器的即时读入信息、其他节点发送的分组数据等。程序代码一般存储于只读存储器、电可擦除可编程只读存储器（**EEPROM**）或闪存。存储器的选择应根据具体情况决定，通常根据成本和功耗来衡量，由于**RAM**成本和功耗较大，在设计传感器节点时应尽量减少**RAM**的大小。





2.2.3节点的模块化设计（继）

3. 无线通信模块

无线通信模块由无线射频电路和天线组成，目前采用的传输介质主要包括无线电、红外、激光和超声波等，它是传感器结点中最主要的耗能模块，是传感器结点的设计重点。

表2-3 传感器网络的常用无线通信技术

无线技术	频率	距离	功耗	传输速率
Bluetooth	2.4GHz	10	低	10 000
802.11b	2.4GHz	100	高	11 000
RFID	50kHz	<5	~	200
ZigBee	2.4GHz	10	低	250
IrDA	Infrared	1	低	16 000
UWB	3.1	10	低	100 000
RF	300	10X	低	10X

X表示数字 1~9





2.2.3 节点的模块化设计（继）

3. 无线通信模块（继）

传感器网络结点常用的无线通信芯片的主要参数如表2-4所列。

表2-4 常用射频芯片的主要参数

芯片	频段	速率	电流	灵敏度	功率	调制方式
TR1000	916	115	3	-106	1.5	OOK/FSK
CC1000	300	76.8	5.3	-110	20	FSK
CC1020	402	153.6	19.9	-118	20	GFSK
CC2420	2400	250	19.7	-94	-3	O
cc2530	2400					
nRF905	433	100	12.5	-100	10	GFSK
nRF2401	2400	1000	15	-85	20	GFSK
9Xstream	902	20	140	-110	16	FHSS





2.2.3 节点的模块化设计（继）



TI Home > Semiconductors > Wireless Connectivity > SimpleLink Solutions > Wireless Microcontrollers >

CC2530 (ACTIVE)

Second Generation System-on-Chip Solution for 2.4 GHz IEEE 802.15.4 / RF4CE / ZigBee



CC2530 (Rev. B)

CC2530 Errata Note

CC253X/4x User's Guide (Rev. D)

Description & parametrics

Technical documents

Tools & software

Order Now

Compare

Quality & packaging

Support & training

Complete your design

Description | Features | Parametrics | Diagrams | Related end equipment

Description

The CC2530 is a true system-on-chip (SoC) solution for IEEE 802.15.4, Zigbee and RF4CE applications. It enables robust network nodes to be built with very low total bill-of-material costs. The CC2530 combines the excellent performance of a leading RF transceiver with an industry-standard enhanced 8051 MCU, in-system programmable flash memory, 8-KB RAM, and many other powerful features. The CC2530 comes in four different flash versions: CC2530F32/64/128/256, with 32/64/128/256 KB of flash memory, respectively. The CC2530 has various operating modes, making it highly suited for systems where ultralow power consumption is required. Short transition times between operating modes further ensure low energy consumption.

Combined with the industry-leading and golden-unit-status ZigBee protocol stack (Z-Stack) from Texas Instruments, the CC2530F256 provides a robust and complete ZigBee solution.

Combined with the golden-unit-status RemoTI stack from Texas Instruments, the CC2530F64 and higher provide a robust and complete ZigBee RF4CE remote-control solution.

Features

- RF/Layout
 - 2.4-GHz IEEE 802.15.4 Compliant RF Transceiver
 - Excellent Receiver Sensitivity and Robustness to Interference
 - Programmable Output Power Up to 4.5 dBm
 - Very Few External Components
 - Only a Single Crystal Needed for Asynchronous Networks
 - 6-mm × 6-mm QFN40 Package
 - Suitable for Systems Targeting Compliance With Worldwide Radio-Frequency Regulations: ETSI EN 300 328 and EN 300 440 (Europe), FCC CFR47 Part 15 (US) and ARIB STD-T-66 (Japan)
- Low Power
 - Active-Mode RX (CPU Idle): 24 mA
 - Active Mode TX at 1 dBm (CPU Idle): 29 mA
 - Power Mode 1 (4 μs Wake-Up): 0.2 mA
 - Power Mode 2 (Sleep Timer Running): 1 μA
 - Power Mode 3 (External Interrupts): 0.4 μA
 - Wide Supply-Voltage Range (2 V–3.6 V)
- Microcontroller
 - High-Performance and Low-Power 8051 Microcontroller Core With Code Prefetch
 - 32-, 64-, 128-, or 256-KB In-System-Programmable Flash
 - 8-KB RAM With Retention in All Power Modes





2.2.3节点的模块化设计（继）

	Digi XBee S2C ZigBee	Digi XBee-PRO S2C ZigBee	Digi XBee S2D ZigBee Thread Ready
PERFORMANCE			
TRANSCEIVER CHIPSET	Silicon Labs EM357 SoC	Silicon Labs EM357 SoC	Silicon Labs EM3587 Soc
DATA RATE	RF 250 Kbps, Serial up to 1 Mbps		
INDOOR/URBAN RANGE	200 ft (60 m)	300 ft (90 m)	200 ft (60 m)
OUTDOOR/RF LINE-OF-SIGHT RANGE	4000 ft (1200 m)	2 miles (3200 m)	4000 ft (1200 m)
TRANSMIT POWER	3.1 mW (+5 dBm) / 6.3 mW (+8 dBm)boost mode	63 mW (+18 dBm)	3.1 mW (+5 dBm) / 6.3 mW (+8 dBm)boost mode
RECEIVER SENSITIVITY (1% PER)	-100 dBm / -102 dBm boost mode	-101 dBm	-100 dBm / -102 dBm boost mode
FEATURES			
SERIAL DATA INTERFACE	UART, SPI		
CONFIGURATION METHOD	API or AT commands, local or over-the-air (OTA)		
FREQUENCY BAND	ISM 2.4 GHz		
FORM FACTOR	Through-Hole, Surface Mount	Through-Hole, Surface Mount	Surface Mount
INTERFERENCE IMMUNITY	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)		





2.2.3节点的模块化设计（继）

在无线射频电路设计中，主要考虑以下三个问题：

(1)天线设计

主要从有以下三个指标来衡量天线的性能。

①天线增益；②天线效率；③天线电压驻波比
天线的种类主要有如下三种：

- ①内置天线由于便于携带
- ②将简单的导线天线或金属条带天线作为元件，
- ③外置天线通常没有内置天线那样的尺寸限制

(2)阻抗匹配

(3)电磁兼容





2.2.3节点的模块化设计（继）

4.传感器模块

根据实际需求可以选择具体的传感器节点实现数据采集功能。在传感器网络中，传感器的选择除了要考虑基本的灵敏度、线性范围稳定性及精确度等静态特性，还要综合功耗、可靠性、尺寸和成本等因素。

5.电源模块

电源模块作为无线传感器网络的基础模块，直接关系到传感器节点的寿命、成本和体积，因此，在设计电源时主要应考虑以下三个方面的问题。

- (1) 能量供应
- (2) 能量获取
- (3) 直流-直流转换

直流-直流转换器有三种类型：

- ①线性稳压开关，产生较输入电压低的电压。
- ②开关稳压器，能升高电压、降低电压或翻转输入电压。
- ③充电泵，可以升压、降压或翻转输入电压，但驱动能力有限。





2.2.4 传感器节点开发实例

传感器节点的设计需要经过很多步骤，其流程图如图2-4所示

1. 功能分析和芯片选型

在此选择使用Atmel公司的AVR系列单片机
ATMEGA128和Chipcon公司的CC2420无线收发器。

选择了芯片之后需要对系统的总体结构进行设计，了解各个部分之间的通信方式，目前设计的节点的结构如图2-5所示。

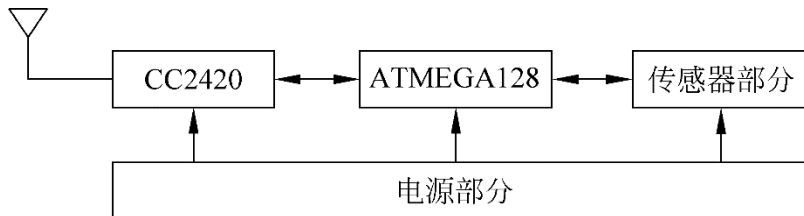


图2-5自行设计的节点结构

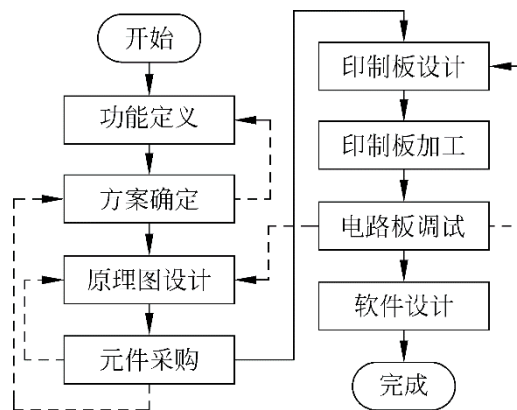


图2-4传感器节点设计流程图





2.2.4 传感器节点开发实例（继）

(3) 无线收发器模块设计

CC2420只需要极少的外围元器件，它的外围电路包括晶振对钟电路、射频输入/输出匹配电路和微控制器接口电路三个部分。

常用的原理图、PCB设计工具有Protel、PADS、OrCAD、Candence、Mentor等。

3. 电路板调试

电路板调试的流程图如图2-8所示。

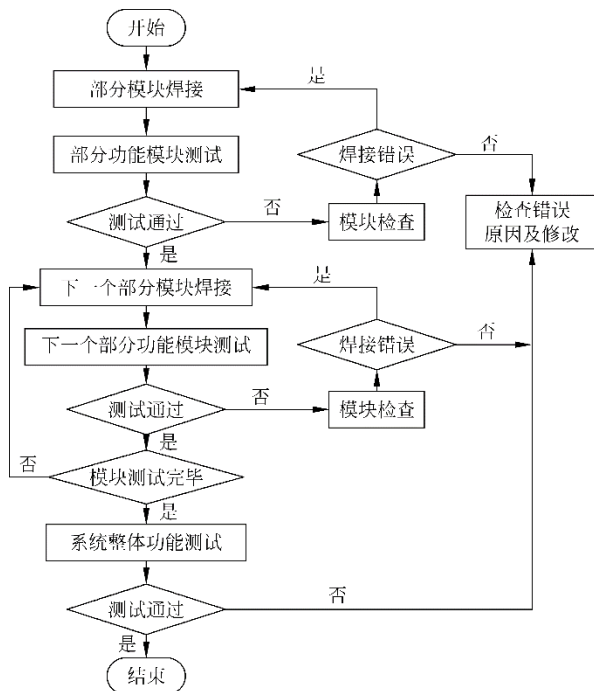


图2-8 电路板调试流程图





2.2.5 常见传感器节点

1. Mica系列节点

表 2-3 Mica 系列节点性能指标

节点类型	Renee	Mica	Mica2	Mica2Dot	MicaZ
MCU 芯片类型	Atmega163	Atmega128			
UART 数量	1	2			
RF 芯片类型	TR1000		CC1000		CC2420
Flash 芯片类型	24LC256	AT45DB041B			
其他接口	DIO	DIO, I ² C	DIO, I ² C	DIO	DIO, I ² C
电源类型	AA	AA	AA	Lithium	AA
节点发布时间	1999	2001	2002	2002	2003

Mica系列节点的技术及性能指标。





2.2.5 常见传感器节点

1. Mica系列节点

表 2-4 通信芯片的性能指标

通信芯片类型	TR1000	CC1000	CC2420
载波技术	OOK/ASK	FSK	QPSK
载波频段/MHz	916	300~1000	2400
数据传输速率/(kb/s)	OOK 方式:30 AKS 方式:115	76.8	250

续表

通信芯片类型	TR1000	CC1000	CC2420
接收最高灵敏度/dB	-106	-110	-99
信道数量	单信道	433MHz:3 个 868MHz:3 个 915MHz:43 个	16 个
通信距离/m	100~300	500~1000	60~150

通信芯片的性能指标





2.2.5 常见传感器节点（继）

2. Telos系列节点

Telos系列节点是美国加州大学伯克利分校研究的成果，是针对Mica系列节点功耗较大而设计的低功耗产品。

作为一个低功耗、可编程、无线传输的传感器网络硬件平台，Telos节点具有两个基本模块，一是处理器和无线通信平台，二是传感器平台，两者之间通过标准接口连接。处理器和无线通信平台采用待机时功耗较低的MSP430处理器和CC2420无线收发芯片

4. Sun SPOT 节点

Sun公司推出了一种新型的无线传感器网络设备Sun SPOT(small programmable object technology)。它采用32位的高性能ARM 920T处理器及支持ZigBee的CC2420无线通信芯片，并开发出Squawk Java虚拟机，可以使用Java语言搭建无线传感器网络。

处理器采用一款32位低功耗ARM 920T微处理器，相对于其他通用的微处理器，它具有更加丰富的资源和极低的功耗





2.2.5 常见传感器节点（继）

5. Gain系列节点

Gain系列节点是中国科学院计算所开发的节点，是国内第一款自主开发的无线传感器网络节点，其外形图如图2-9所示。

Gain系列第一版节点的处理器采用中国科学院计算机所自行开发的处理器，该处理器采用哈佛总线结构，

Gain系列第一版节点的处理器采用中国科学院计算机所自行开发的处理器，该处理器采用哈佛总线结构，兼容AVR指令集。

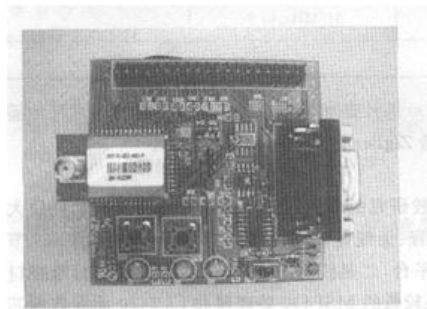


图 2-9 Gain 节点





2.3 WSN的操作系统

2.3.1概述

TinyOS是一个开源的嵌入式操作系统，它是由加州大学的伯利克分校开发，主要应用于无线传感器网络方面。它是一种基于组件(Component-Based)的架构方式，能够快速实现各种应用。TinyOS程序采用的是模块化设计，程序核心往往都很小。一般来说，核心代码和数据大概在400B左右，能够突破传感器存储资源少的限制，使得TinyOS可以有效地运行在无线传感器网络结点上，并负责执行相应的管理工作。

TinyOS的主要特点如下：

- ①采用基于组件的体系结构
- ②采用事件驱动机制，
- ③采用轻量级线程技术和基于先进先出(First In First Out, FIFO)的任务队列调度方法。
- ④采用基于事件驱动模式的主动消息通信方式，





2.3.1 nesC语言

1.nesC简介

nesC是对C的扩展，它基于体现 TinyOS 的结构化概念和执行模型而设计。

其基本特点如下：

- (1) 结构和内容的分离，程序有组件（component）构成
- (2) 根据接口（interface）的设置说明组件功能。
- (3) 组件通过接口彼此静态地相连，





2.3.1 nesC语言（继）

2.接口

接口是一系列声明的有名函数集合，同时接口是连接不同组件的纽带。
nesC中的接口是双向的，

3.组件

任何一个nesC应用程序都是有一个或者多个组件连接起来的，从而形成了一个完整的可执行程序。

4.模块

模块(modules)是主要用C语言实现的组件规范，它实际上是组件的逻辑功能实体，主要包括命令、事件、任务等的具体实现。

5.配置

配置通过连接一系列其他组件来实现一个组件规范，它主要实现组件间的相互访问方式。





2.3.2 TinyOS组件模型

- TinyOS包含了经过特殊设计的组件模型，其目标是高效率的模块化和易于构造组件型应用软件。
- TinyOS的组件有四个相互关联的部分：一组命令处理程序句柄，一组事件处理程序句柄，一个经过封装的私有数据帧（data frame），一组简单的任务。

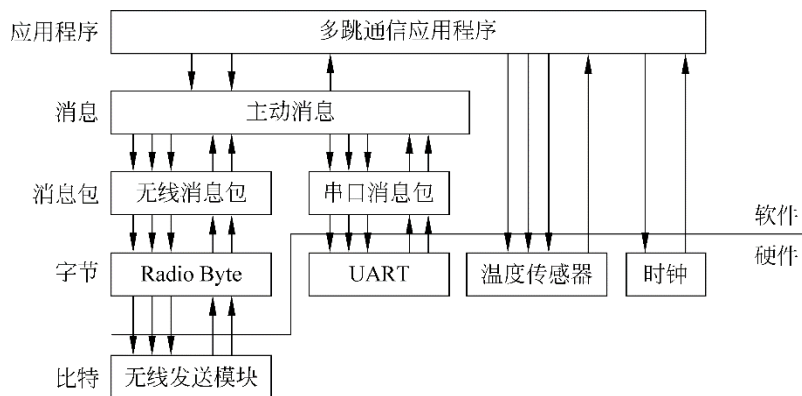


图2-10支持多跳无线通信的传感器应用程序的组件结构





2.3.3 TinyOS通信模型

TinyOS中的消息通信遵循主动消息通信模型，它是一个简单的、可扩展的、面向消息通信(message-based communication)的高性能通信模式，早期一般应用于并行和分布式计算机系统中。

- 1.主动消息的设计实现
- 2.主动消息的缓存管理机制
- 3.主动消息的显式确认消息机制





2.3.4 TinyOS事件驱动机制、调度策略与能量管理机制

1.事件驱动机制

事件驱动分为硬件事件驱动和软件事件驱动。硬件事件驱动也就是一个硬件发出中断，然后进入中断处理函数。而软件驱动则是通过signal关键字触发一个事件。

2.调度策略

在无线传感器网络中，单个节点的硬件资源有限，如果采用传统的进程调度方式，首先硬件无法提供足够的支持；其次，由于节点的并发操作比较频繁，而且并发操作执行流程又很短，这也使得传统的进程/线程调度无法适应。事件驱动的TinyOS采用两级调度：任务和硬件事件处理句柄。

3.能量管理机制

电源能量有限，多种性能指标结合起来考虑，从节点操作系统这一层面上TinyOS采用相互关联的三个部分进行能量管理。

4.运行空间

从运行空间方面看，多任务系统需要为每个上下文切换预先分配空间，而事件驱动的执行模块则可以运行很小的空间中。





2.3.5 LED灯闪烁实验分析

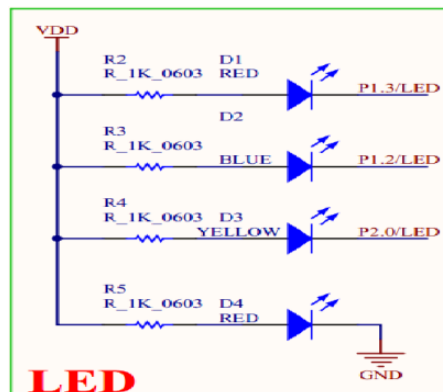
1.原理

无线传感网络实验平台设备上有D13、D14、D15、D16，4个LED灯，其中，D13和D15主要用于程序调试，可以根据具体功能进行相应更改。通过原理图可知，当CC2530的与LED相接的数字IO输出高电平时LED点亮，输出低电平时LED熄灭，输出交替电平时LED闪烁。在本实验中，系统启动后，D13和D15轮流点亮，点亮和变暗的间隔用for循环延时实现。LED控制电路图2-17如下：

3.查看实验结果

节点板上的D14（LED灯）和D15(LED灯)依次点亮、熄灭。

2.相关代码





2.相关代码

BlinkM.nc文件:

```
/*  
*****  
*      FUNCTION NAME : BlinkM.nc  
*      FUNCTION DESCRIPTION : LED灯闪烁  
*      FUCNTION DATE :2011/11/29  
*      FUNCTION AUTHOR: EMDOOR  
**/  
module BlinkM {  
    uses interface Leds;  
    uses interface Boot;  
}  
implementation {  
    task void DemoLed() {  
        int i,j;  
        while(1) {  
            for(i=0;i<1000;i++)  
                for(j=0;j<500;j++);  
  
            call Leds.BlueLedOn();           //D14 LED亮  
            call Leds.RedLedOff();           //D15 LED亮  
  
            for(i=0;i<1000;i++)  
                for(j=0;j<500;j++);  
  
            call Leds.BlueLedOff();           //D14LED灭  
            call Leds.RedLedOn();           //D15 LED亮  
        }  
    }  
    /** 启动事件处理函数，在LED.nc已经关联到MainC.Boot接口  
        系统启动后会调用此函数  
    */  
    event void Boot.booted() {  
        post DemoLed();  
    }  
}
```





2.相关代码（继）

BlinkC.nc文件：

```
/******
```

```
*      FUNCTION NAME : BlinkC.nc
*      FUNCTION DESCRIPTION : LED灯闪烁
*      FUCNTION DATE :2010/10/14
*      FUNCTION AUTHOR: EMDOOR
```

```
**/
```

```
configuration BlinkC
```

```
{
```

```
}
```

```
implementation
```

```
{
```

```
    components BlinkM;                //LED模块程序，用于实现LED代码
```

```
    components LedsC;
```

```
    components MainC;
```

```
//TinyOS2主模块，这里用于关联系统启动
```

```
    /* LED模块程序中控制LED的IO与tinyos提供
```

```
    * 的接口相关联
```

```
    */
```

```
    BlinkM.Leds -> LedsC;
```

```
    /* LED模块程序的Boot接口与系统Boot接口
```

```
    * 关联这样系统启动时会调用LedM的Boot接口
```

```
    */
```

```
    BlinkM.Boot -> MainC.Boot;
```

Makefile文件：

```
COMPONENT=BlinkC
```

```
#####
```

```
PFLAGS += -DUSE_MODULE_LED
```

```
#####
```

```
include $(MAKERULES)
```





2.4现代WSN典型实验平台

当今市场上无线传感器网络实验种类繁多，但功能基本相同。下面以武汉创维特CVT-WSN-II无线传感器网络教学实验系统为例介绍无线传感器网络典型实验平台的硬件组成。

2.4.1 硬件系统的组成

VT-WSN-II无线传感器综合教学实验系统包括16种传感器模块、5种被控单元、无线射频模块。其中传感器模块包括温度、温湿度、光照、人体感应、震动、可燃气体、酒精、压力、气象气体压力、超声波测距、三轴加速度、水流量、雨滴、霍尔、磁场等，被控单元包括LED矩阵、数码管、蜂鸣器、步进电机、直流电机，网关直接采用TI公司的无线单片机CC2530作为核心处理器，

硬件系统组成如图2-18所示，详细如表2.1所示。





2.4.1 硬件系统的组成(继)

表2-8 CVT-WSN-II教学实验系统硬件组成

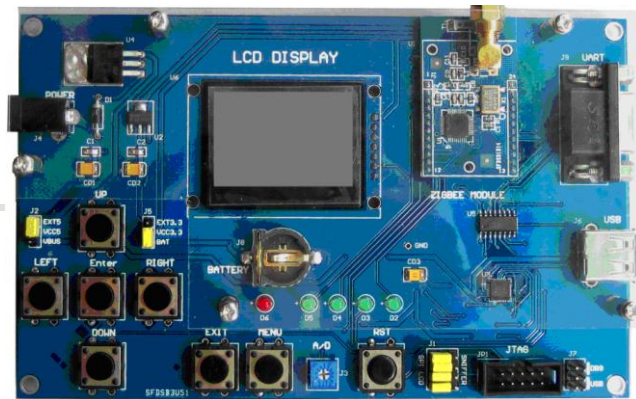
序号	名称	规格型号	数量	备注
1	无线单片机显示网关板	CVT-WSNMCULCD	1	CC2530处理器, 128*64点阵LCD屏 7个功能按键, 4个LED灯
2	通用调试母板	CVT-WSN-EMK	7	3个按键/1个AD/3个LED/1个UART, 3种供电模式
3	Zigbee板	CVT-ZIGBEE	8	1. 工作频段2. 4G, 信道16个 2. 信道带宽5M 3. 符合IEEE 802.15.4 标准 4. 内置 IEEE 802.15.4 MAC协议栈
4	传感器扩展板1	CVT-WSNSENSOR1	1	温度/温湿度/光照/人体感应/震动
5	传感器扩展板2	CVT-WSNSENSOR2	1	可燃气体/酒精/压力/气象气体压力
6	传感器扩展板3	CVT-WSNSENSOR3	1	超声波测距/三轴加速度
7	传感器扩展板4	CVT-WSNSENSOR4	1	水流量/雨滴/霍尔/磁场
8	指示扩展板	CVT-WSNSEG	1	LED/数码管/蜂鸣器指示
9	控制扩展板	CVT-WSNMOTOR	1	直流电机/步进电机/继电器控制
10	RFID扩展板	CVT-WSNRFID	1	13.56M RFID
11	USB供电板	CVT-WSNUSB	1	供电电源线一个, USB线8根
2	Zigbee通用仿真监视器	CC2000	1	下载调试排线一根 USB2.0下载调试线一根



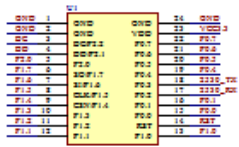


2.4.2 硬件组件介绍

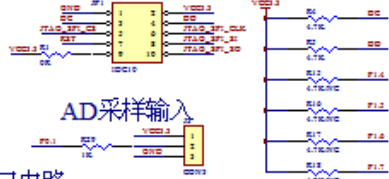
1. 无线单片机显示网关板



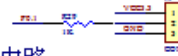
CC2530接口电路



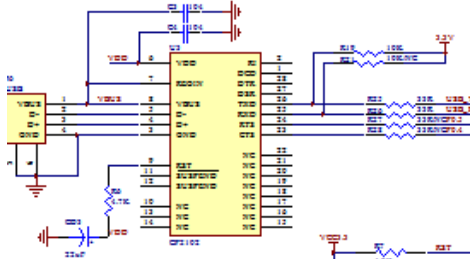
JTAG口电路



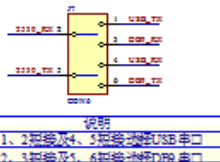
AD采样输入



USB转串口电路



串行接口选择

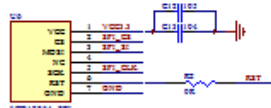


Sniffer选择

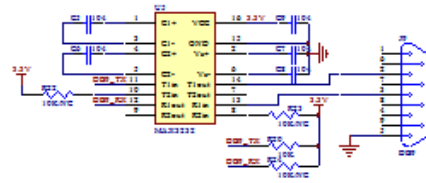


说明
1和2、4和5、7和8、10和11短接选择Sniffer功能
3和6、5和9、8和11、10和12短接选择LCD功能

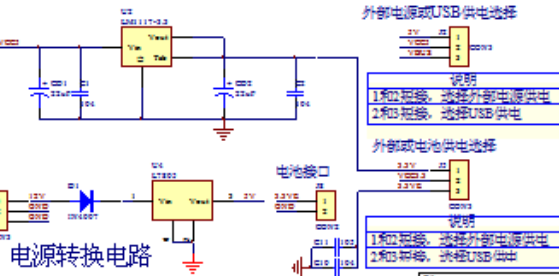
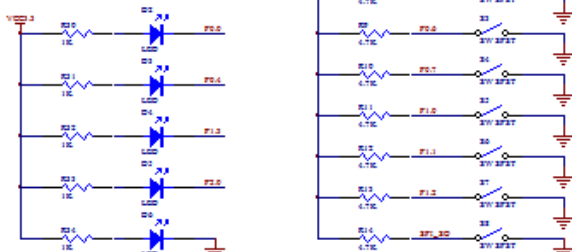
12864LCD接口



RS232串口电路



LED和按键电路



外部电源或USB供电选择

说明
1和2短接，选择外部电源供电
2和3短接，选择USB供电

外部或电池供电选择

说明
1和2短接，选择外部电源供电
2和3短接，选择USB供电

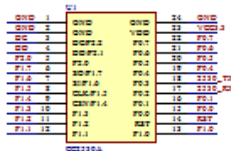




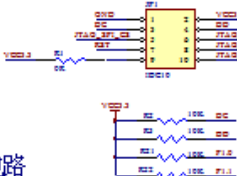
2.通用调试母板（继）



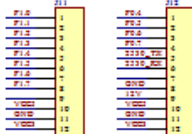
CC2530接口电路



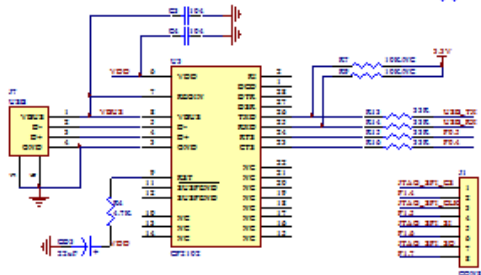
JTAG口电路



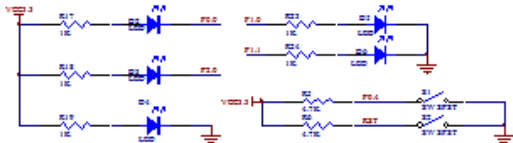
传感器模块接口



USB转串口电路



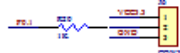
LED和按键电路



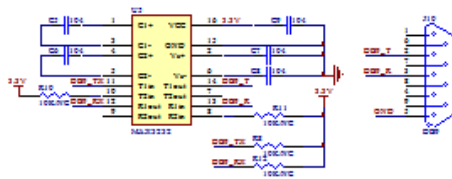
传感器类型选择



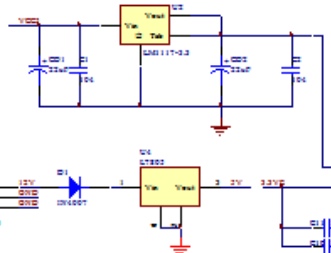
AD输入



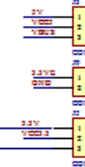
RS232串口电路



电源转换电路



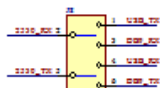
USB供电选择



电池供电选择

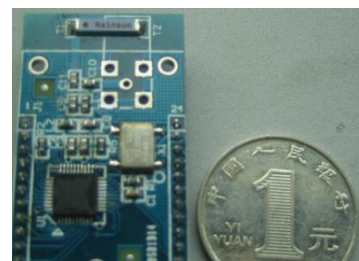


串口接口选择

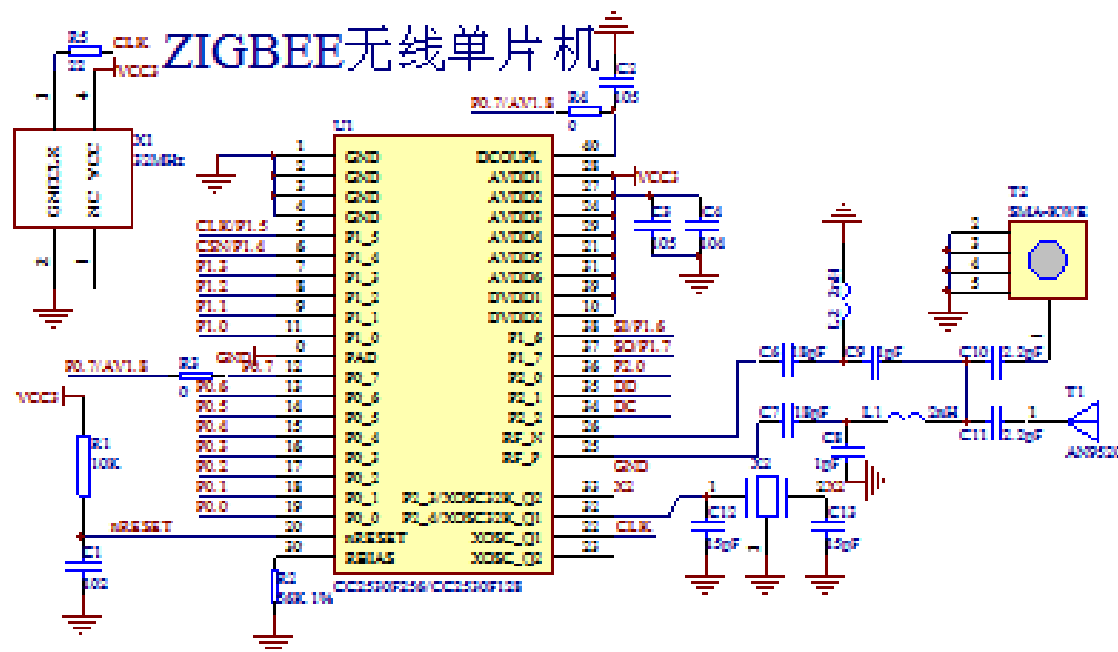
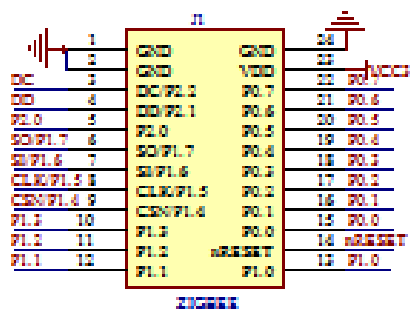




3.Zigbee板



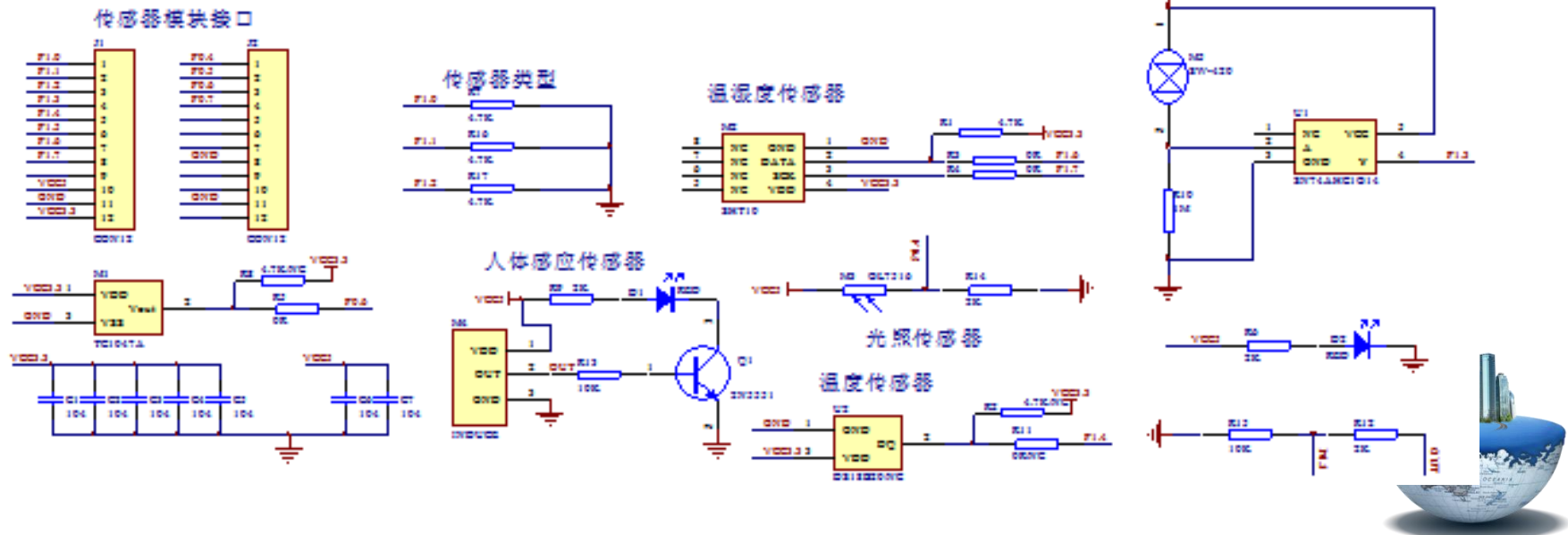
ZIGBEE接口



4.传感器扩展板

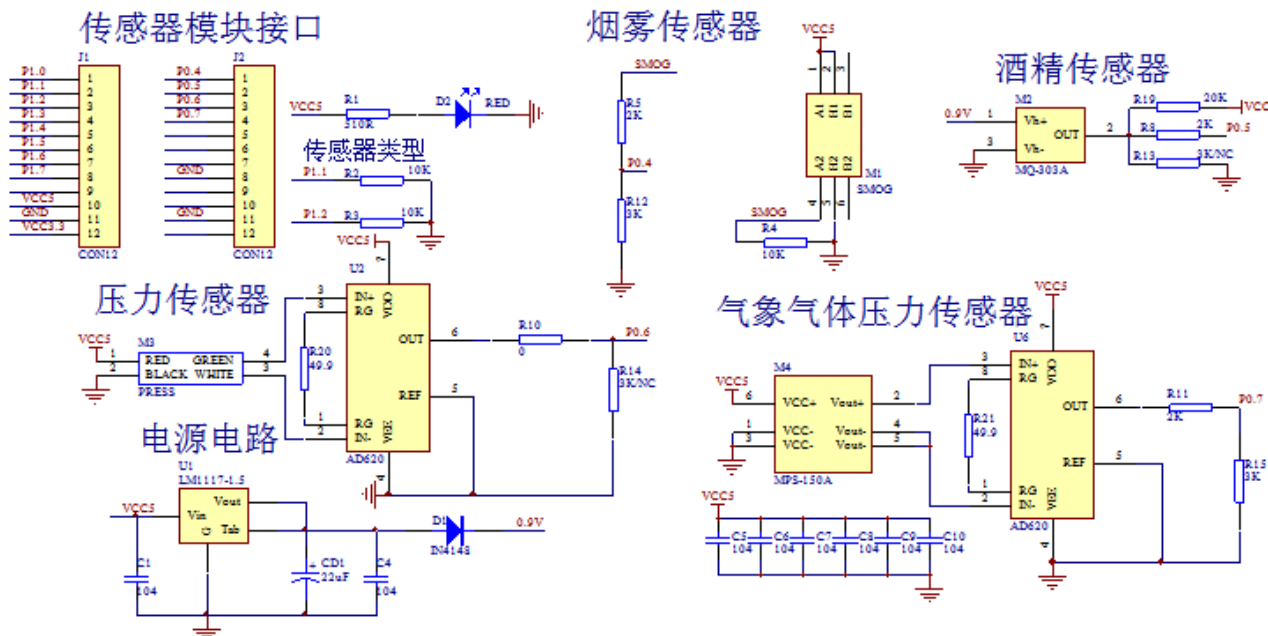
将传感器进行了分类，按功能或大小，将上面的传感器组合为4种传感器板。即传感器扩展板1、传感器扩展板2、传感器扩展板3、传感器扩展板4。

(1) 传感器扩展板1





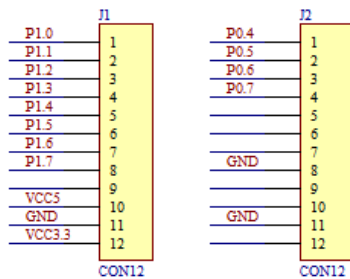
(2) 传感器扩展板2



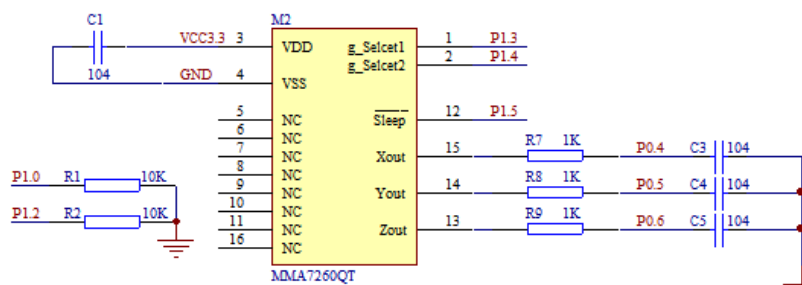
(3) 传感器扩展板3



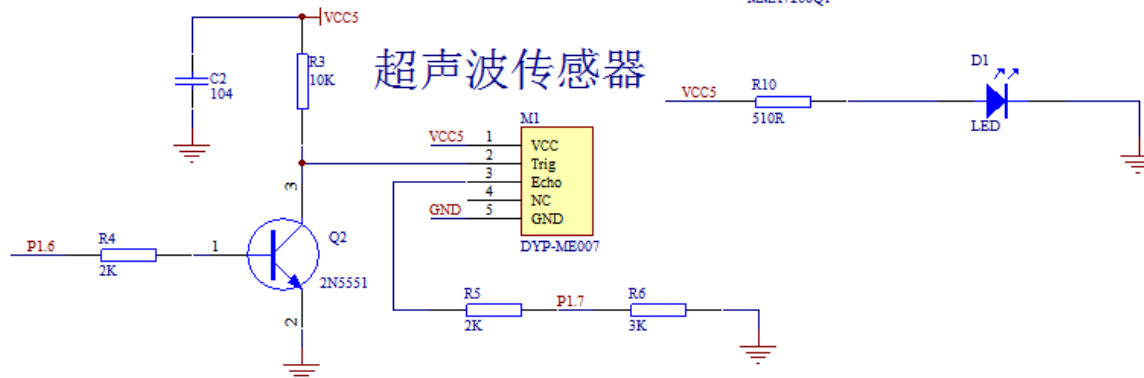
传感器模块接口



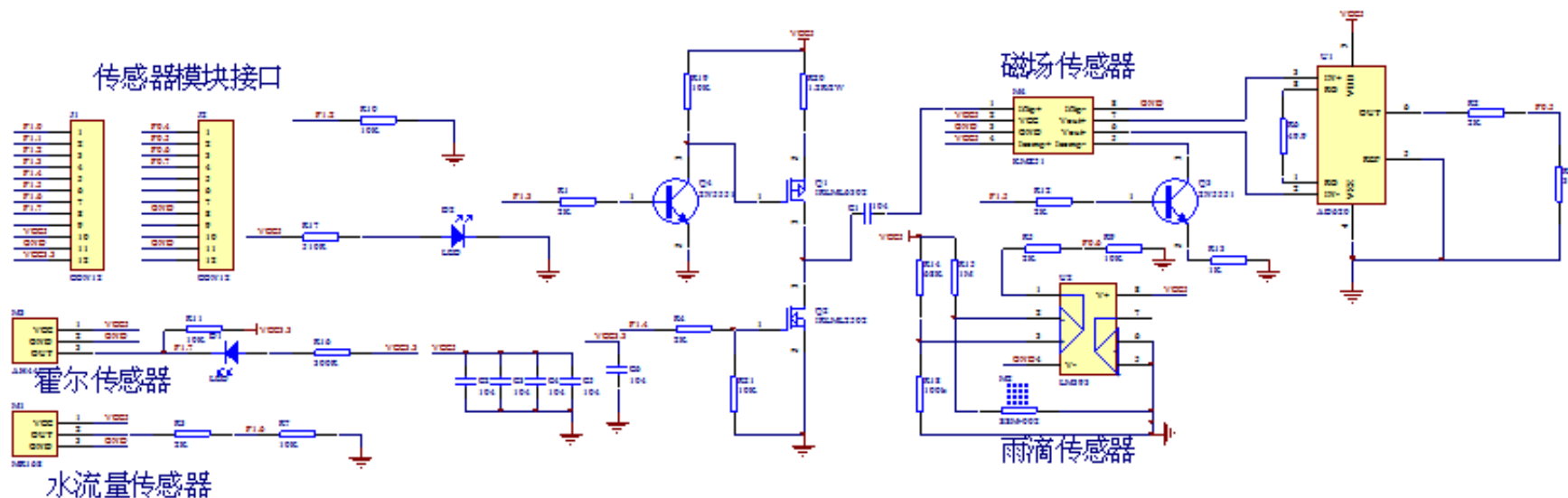
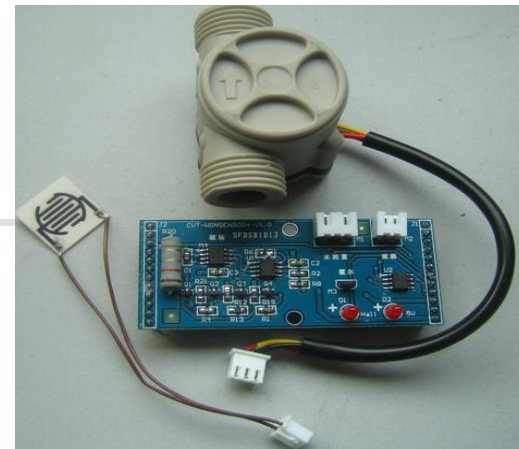
三轴加速度传感器



超声波传感器

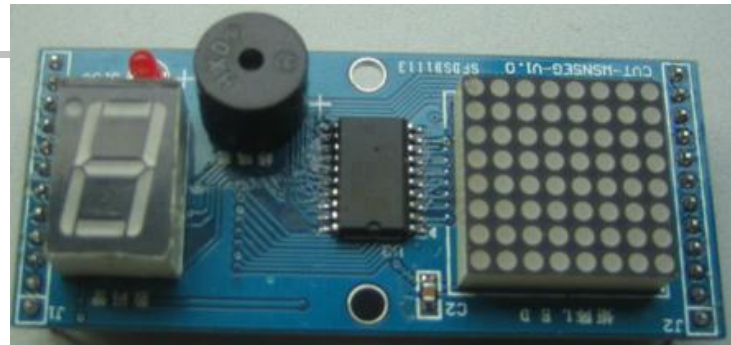


(4) 传感器扩展板4

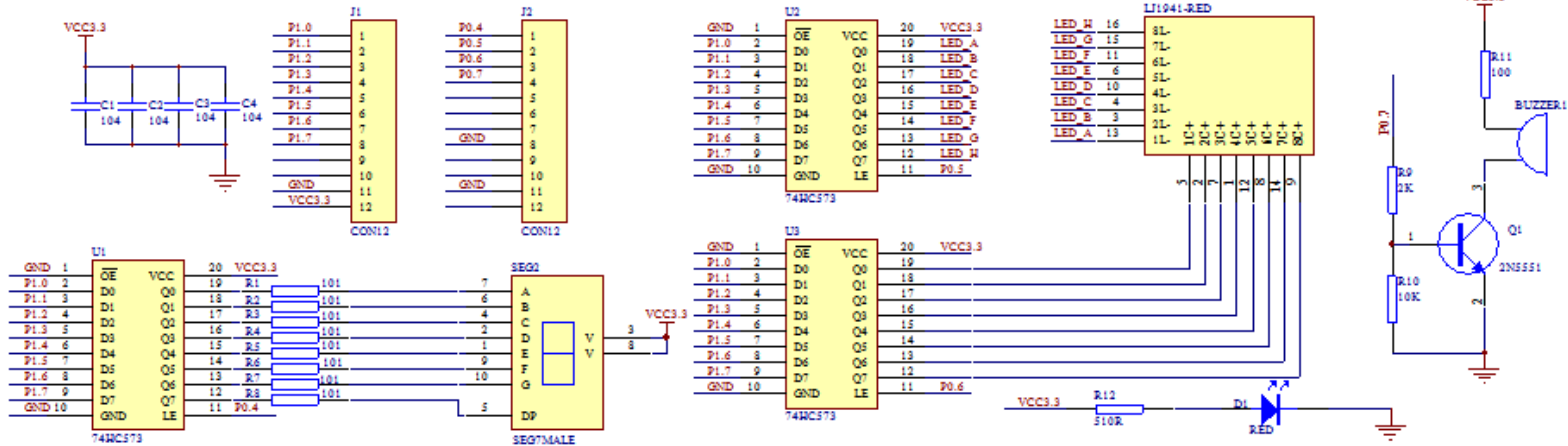




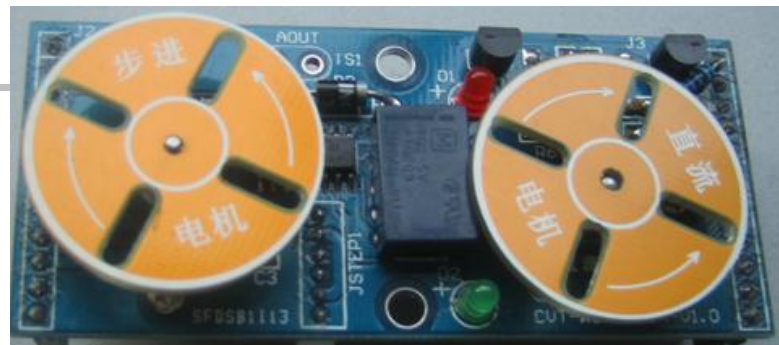
(5) 指示扩展板



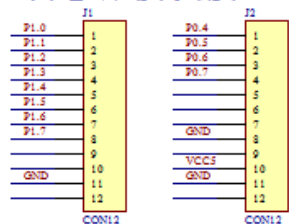
传感器模块接口



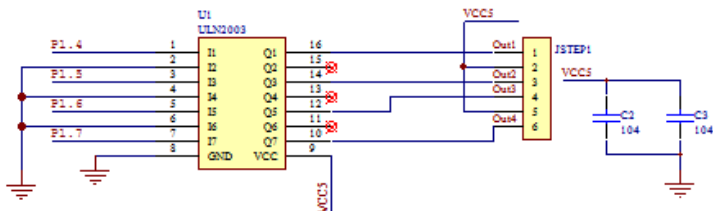
(6) 控制扩展板



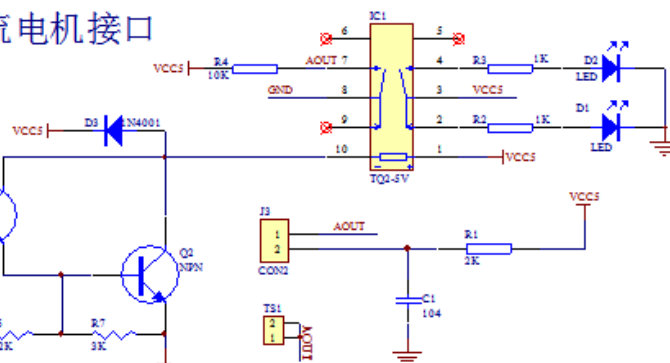
传感器模块接口



步进电机接口

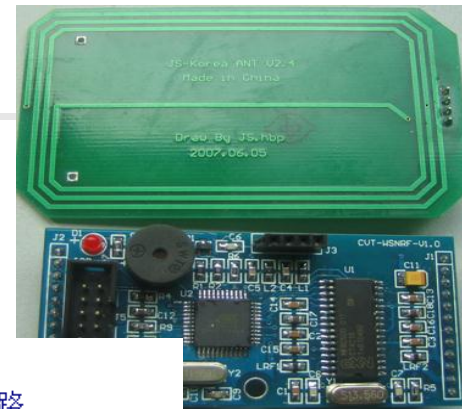


直流电机接口

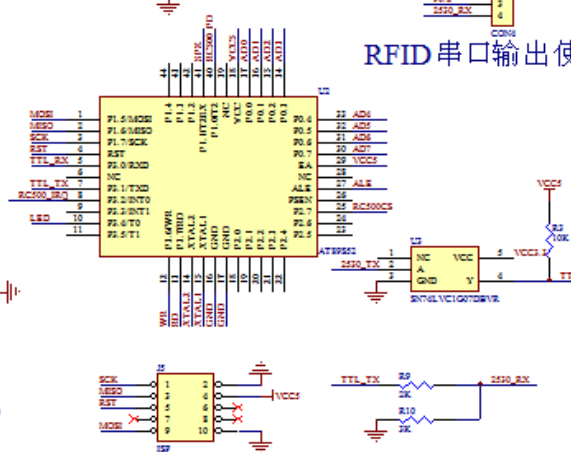
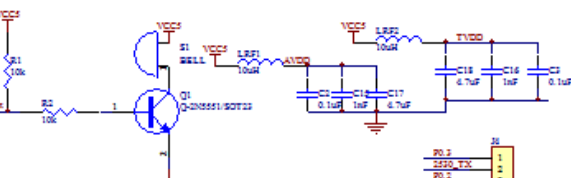
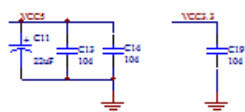
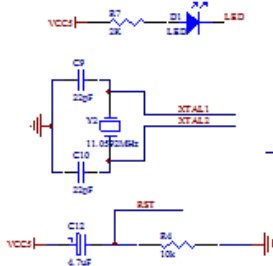
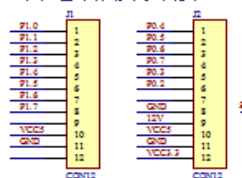




(7) RFID扩展板

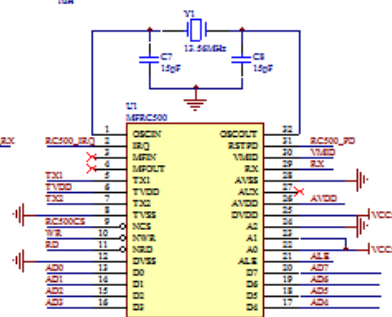
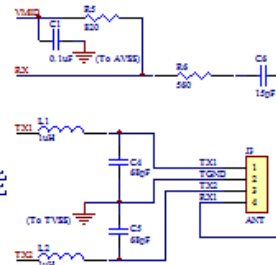


传感器模块接口



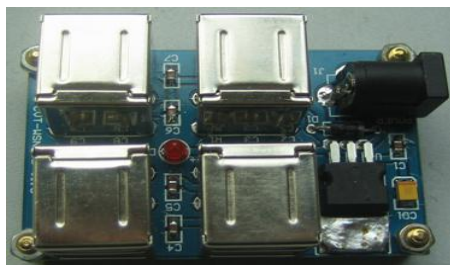
RFID串口输出使能

RFID功能电路





(8) USB供电板



(9) Zigbee仿真器



2.4.4 传感器节点

传感器节点硬件电路板如图2-41、图2-42所示，主要包括1块底板(采集板)与1块ZigBee模块组成。根据需要可增加传感器扩展板。底板型号为C51RF-WSN-DA100。传感器扩展板型号为C51RF-WSN-DA300。

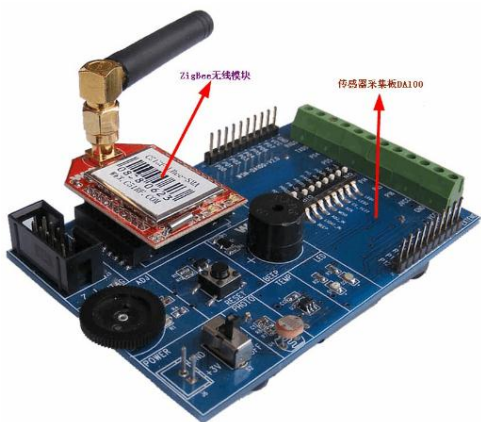


图2-41 传感器节点

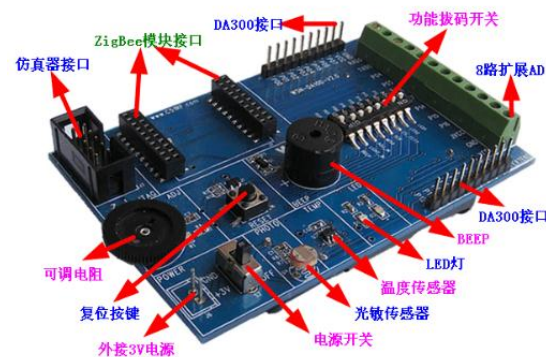


图2-42 传感器底板（采集板）DA100





2.4.5 路由器节点

在传感器节点不能和网关直接通信的时候，路由器节点就起到了连接网关和传感器节点通信的目的。传感器节点硬件电路在无线ZigBee传感器网络系统既可用于普通传感节点，也可用于无线ZigBee网络中的路由节点之用。当传感器节点用作路由节点之用时，硬件电路配置如图2-41所示。





2.5 ZigBee硬件平台

TI 公司的CC2530是真正的系统级SoC芯片,适用于2.4GHz IEEE 802.15.4, ZigBee和RF4CE应用。CC2530包括了极好性能的一流的RF收发器, 工业标准增强型8051 MCU, 系统中可编程的闪存, 8KB RAM, 具有不同的运行模式, 使得它尤其适应超低功耗要求的系统, 以及许多其它功能强大的特性, 结合德州仪器的业界领先的黄金单元ZigBee 协议栈 (Z-Stack™), 提供了一个强大和完整的ZigBee 解决方案。

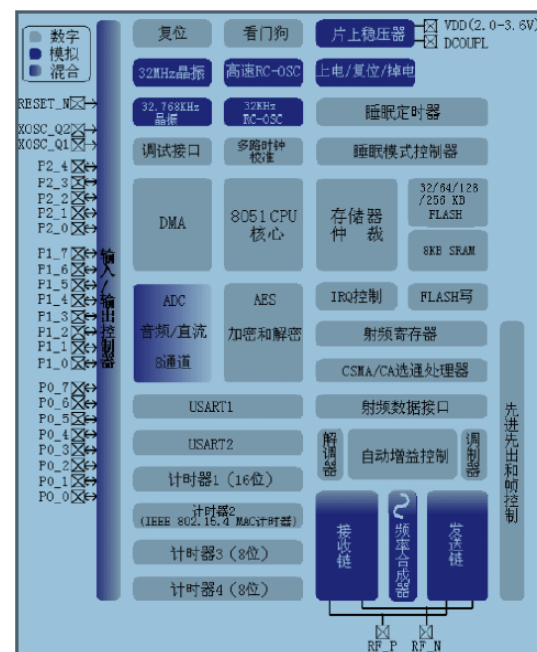




2.5.1 CC2530芯片的特点

CC2530芯片方框图如图2-43所示。

内含模块大致可以分为三类：CPU 和内存相关的模块；外设、时钟和电源管理相关的模块，以及射频率相关的模块。CC2530在单个芯片上整合了8051兼容微控制器、ZigBee射频(RF)前端、内存和FLASH存储器等，还包含串行接口(UART)、模/数转换器(ADC)、多个定时器(Timer)、AES128安全协处理器、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IO口等外设接口单元。





2.5.1 CC2530芯片的特点（继）

CC2530的主要特点如下：

- 高性能、低功耗、带程序预取功能的8051微控制器内核。
- 32KB/64KB/128KB或256KB的在系统可编程Flash。
- 8KB在所有模式都带记忆功能的RAM。
- 2.4GHz IEEE 802.15.4兼容RF收发器
优秀的接收灵敏度和强大的抗干扰性能力。
- 精确的数字接收信号强度(RSSI)指示/链路质量指示(LQI)支持。
- 最高到4.5dBm的可编程输出功率。
- 集成AES安全协处理器，硬件支持的CSMA/CA功能。
- 具有8路输入和可配置分辨率的12位ADC。
- 强大的5通道DMA。
- IR发生电路。





2.5.2 CC2530片上8051内核

- CC2530芯片使用的8051 CPU内核是一个单周期的8051兼容内核。它有三种不同的内存访问总线（SFR，DATA 和 CODE/XDATA），单周期访问SFR，DATA 和主SRAM。
- 1.增强型8051内核
- 2.存储空间
- 3.特殊功能寄存器





2.5.3 CC2530主要特征外设

- CC2530有21个数字I/O引脚，能被配置为通用数字I/O口或作为外设I/O信号连接到ADC、定时器、或串口外设。
- 1. 输入/输出接口
- 2. 直接存取(DMA)控制器
- 3. 定时器 (Timer)
- 4. 14位模/数转换器(ADC)
- 5. 串行通信接口(USART)
- CC2530有2个串行接口：USART0和USART0。可以独立操作在异步UART模式或同步SPI模式。





2.5.4 CC2530无线收发器

- 一个基于802.15.4的CC2530无线收发器如图2-45所示。无线核心部分是一个CC2420射频收发器。

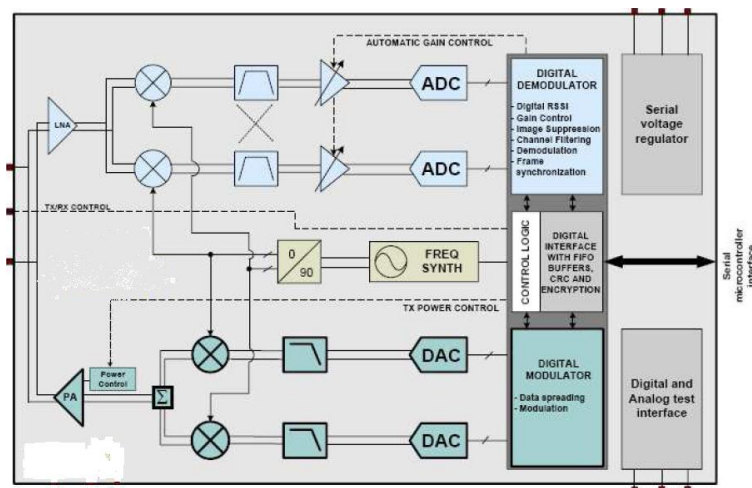


图2-45 CC2530无线收发器方框图





2.5.5 C2530开发环境IAR

- CVT-WSN-II/S教学实验系统使用的软件比较多，包括CC25XX无线单片机软件集成开发环境、CC25XX芯片FLASH编程软件、ZIGBEE协议分析软件、基于PC的管理分析软件等。

- 1. IAR Embedded Workbench for 8051

IAR嵌入式集成开发环境，是IAR系统设计用于处理器软件开发的集成软件包，包含软件编辑、编译、连接、调试等功能。

- 2.SmartRF Flash Programmer

SmartRF Flash Programmer用于无线单片机CC2530的程序烧写，或用于USB接口的MCU固件编程，读写IEEE地址等。

- 3. Zigbee协议监视分析软件(Packet Sniffer)

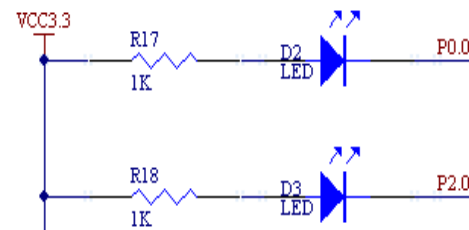
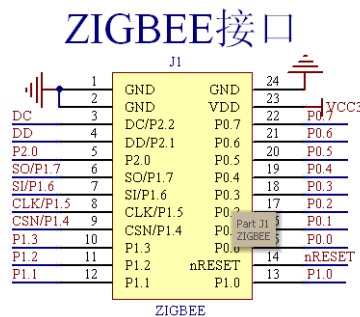
Packet Sniffer用于802.15.4/Zigbee协议监视和分析功能。可以对本地的Zigbee网络进行协议监视和分析。





4. LED自动闪烁实验分析

- CC2530软件开发环境IAR Embedded Workbench for MCS-51如何 新建一个工程，完成自己的设计和调试。有关IAR的详细说明文档可浏览IAR网站或参考 安装文件夹里的支持文档Chipcon IAR IDE usermanual_l_22.pdf。这里仅通过一个简单的 LED闪灯测试程序带领用户逐步熟悉IAR for 51工作环境。在这个测试程序中所需要的工 具和硬件是DTD243A_Demo仿真器和一个CC2430模块 DTD243A。
- (1) CC2530的GPIO接口
- (2) 寄存器
- (3) 相关电路图





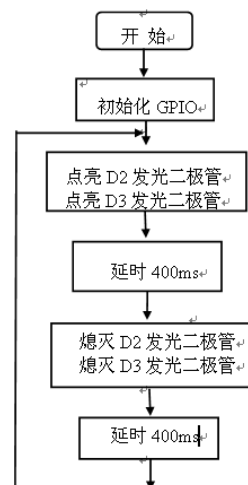
4. LED自动闪烁实验分析（继）

（4）程序流程及核心代码

①程序流程如图2-47所示

②核心代码

```
void main( void )  
{  
    P0DIR |= 0x01; // 设置P1.0为输出方式，复位后为普通I/O输入口  
    P2DIR |= 0x01; // 设置P2.0为输出方式，复位后为普通I/O输入口  
  
    while(1)  
    {  
        P0_0 = 0; // 点亮D2发光二极管  
        P2_0 = 0; // 点亮D3发光二极管  
  
        delay(); //延时子程序，延时大概400ms  
  
        P0_0 = 1; // 熄灭D2发光二极管  
        P2_0 = 1; // 熄灭D3发光二极管  
  
        delay();  
    }  
} // end of main()  
  
（5）实验现象  
发光二极管D2和D3同时点亮，一段时间后又同时熄灭，如此循环往复。
```





作业

