

# 目录

1	系统方案设计	1
1.1	设计任务	1
1.2	方案论证与选择	1
1.2.1	调制解调方式	1
1.2.2	载波频率	1
1.2.3	功放的选择	1
1.2.4	单片机选型	1
1.3	系统方案框图	1
2	理论分析计算与电路设计	2
2.1	发射部分	2
2.1.1	耦合天线	2
2.1.2	发射机	2
2.2	接收部分	3
2.2.1	SA636 接收机	3
2.2.2	中频滤波器	3
2.2.3	解调信号处理	3
2.2.4	晶体振荡器设计	4
2.3	传感器	4
3	系统软件设计	4
3.1	通信协议	4
3.2	系统软件	5
4	系统测试方案与测试数据	5
4.1	测试仪器	5
4.2	载波频率测试	5
4.3	监测终端与各节点通信距离、响应时间及功耗测试	5
4.4	温度测量	6
4.5	带有转发功能的探测节点与监测终端通信距离、响应时间及功耗测试	6
5	系统创新点分析	6
6	附录	7

## 摘要

无线环境监测模拟装置由监测终端和探测节点组成，二者可进行点对点通信，又可构成具有转发功能的通信网络，同时支持在线地址更改。该套装置可以实现对周边温度和光照信息的探测与采集。该系统为半双工通信系统，系统通信载频为 27MHz，采用 CMOS 晶体振荡器以及数字器件做 ASK 调制，用 SA636 的快速 RSSI 进行 ASK 解调，其灵敏度高，可以实现强度为-75dBm 的 ASK 信号的解调，系统通信速率 9600bps。监测终端可以自动获取探测节点的地址信息以及传感器信息，探测节点可以作为中继实现信息转发功能。系统采用 MSP430F147 低功耗单片机，以及低功耗分离元器件，使得单个探测节点功耗较低。

**关键词：**无线环境监测 ASK RSSI

## 1 系统方案设计

### 1.1 设计任务

根据命题要求,设计并制作一套无线环境监测模拟装置,实现对周边温度和光照信息的探测与采集。该装置由1个监测终端和不多于255个探测节点组成(实际制作2个)。每个装置由无线收发信机,耦合线圈(天线),传感器,信息处理器,显示器等多个模块构成,实现监测终端对不同探测节点周边环境信息的探测与采集。命题所要求系统具体的性能与技术指标:实现无线数据通信;探测节点可预置编码,并不多于255个;温度测量范围 $0^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ ,绝对误差小于 $2^{\circ}\text{C}$ ;探测有无光照;探测时延小于5s;监测终端与探测节点通信距离不小于10cm,增加节点转发功能通信距离不小于50cm;尽量降低整套装置的功耗。

### 1.2 方案论证与选择

#### 1.2.1 调制解调方式

数字通信中常用的调制方式有ASK,FSK,PSK等。由于探测节点由电池供电,而FSK或PSK调制解调方式需要的供电电压和功耗较高,所以我们选用功耗低且易于实现的ASK调制解调方式。

#### 1.2.2 载波频率

对耦合线圈作为天线传递信息进行计算与分析,在发射功率一定的情况下,载频越高,天线指向性越强,则接收信号质量越好。受限于命题载波频率小于30MHz的要求,最终将载波频率定为27MHz,由晶体振荡器产生。

#### 1.2.3 功放的选择

由于探测节点的低电压供电要求使得功率放大在使用普通元件时变得相对困难,经测试,非门振荡器所产生的信号,经模拟电路处理,接 $50\Omega$ 负载最低幅值达1.65V(6.4mW),可以直接接到天线发射,无需再加功放电路。

#### 1.2.4 单片机选型

ATmega88V:片上自带可按字节擦写的EEPROM,可擦写的FLASH,模拟比较器,片内ADC,功耗极低( $<300\mu\text{A}$ ,2.7V),但受限于参赛选手对其了解以及使用,不适合在短时间内对该单片机进行开发应用。

MSP430F147:其最低稳定工作电压为1.8V,而且内部资源丰富(12位AD,双串口,大容量RAM,硬件乘法器),有多种低功耗模式。可以在极低的功耗下便捷的完成题目所要求的任务。并且其市场价格低廉,开发工具与开发环境较为简单。

基于此,本系统最终将核心控制器确定为MSP430F147。

### 1.3 系统方案框图

对每一个探测节点和检测终端都制作同样的收发信机,其结构示意图如图1所示。

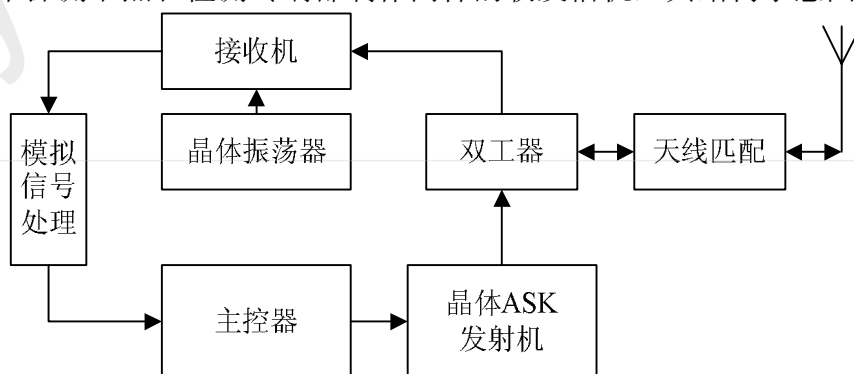


图1 收发信机结构示意图

数据发射：单片机串口发数据，经晶体 ASK 调制发射机将数据进行调制，过双工器以及天线匹配网络，最终将信号经耦合线圈发送出。

数据接收：耦合线圈接收射频信号，经双工器分离进接收机混频，然后接收机 RSSI 输出基带信号，再经模拟信号处理获得数字信息。

## 2 理论分析计算与电路设计

### 2.1 发射部分

#### 2.1.1 耦合天线

天线线圈等效电路如图 2 所示，其中  $L_{ANT}$  表示线圈电感量， $R_{ANT}$  表示线圈的等效串联电阻， $C_{ANT}$  表示线圈的分布电容。

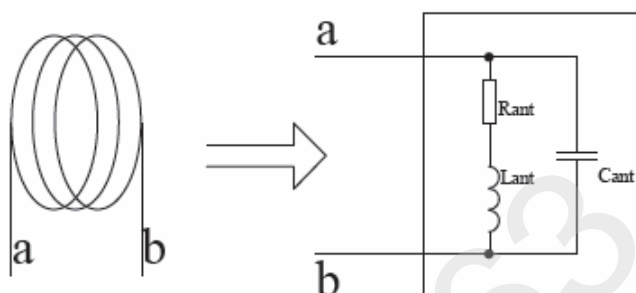


图 2 天线线圈等效电路

根据命题要求实际制作的线圈，用 LCR 电桥测量结果为： $L_{ANT} = 1.5\mu\text{H}$ ， $R_{ANT} = 25\text{m}\Omega$ ， $C_{ANT} = 7.5\text{pF}$ 。天线的品质因数是天线正确调谐和所获得性能的一个重要特性，所制线圈的品质因数  $Q = \omega_r L_{ANT} / R_{ANT} = 10178.8$ 。而根据天线的几何形状， $Q$  的值通常在 50~100 之间。要进行正确的数据传输这个值还要减少，由带宽  $B = f_r / Q$ ，以及时间与带宽乘积规定  $B \cdot T \geq 1$ ，得出  $Q \leq f_r \cdot T$ 。由于元件的容差和对温度的依靠， $Q$  通常取 35，所以要降低原始  $Q$  因数，需串入一个外部电阻  $R_{EXT} = \omega_r L_{ANT} / 35 - R_{ANT} = 7.24\Omega$ 。采用图 2 所示的电路图将天线线圈匹配到  $50\Omega$ 。

其中  $C_s = \sqrt{R_{EXT} + R_{ANT}} / Z / \omega_r^2 L_{ANT} = 9.89\text{pF}$ ，取  $C_s$  为  $10\text{pF}$ ， $C_p = 1 / \omega_r^2 L_{ANT} - C_s = 13.27\text{pF}$ ，取  $C_p$  为  $12\text{pF}$  并联  $1.2\text{pF}$ ，仿真结果如图 3 所示

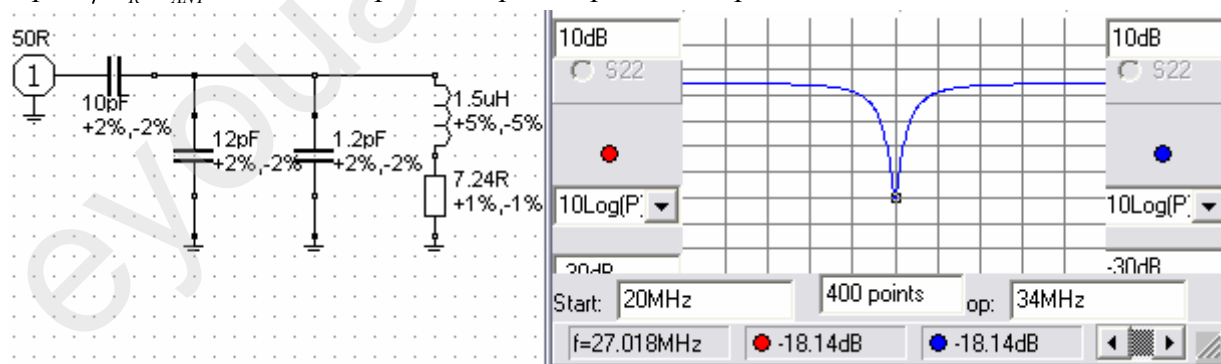


图 3 天线线圈匹配  $S_{11}$  仿真结果

#### 2.1.2 发射机

系统发射采用 ASK 调制方式。系统采用非门振荡器产生 27MHz 载频信号，运用或非门数字器件实现符合逻辑要求的 ASK 已调信号。发射功率大于等于  $6.5\text{mW}$  ( $50\Omega$  假负载)。发射机硬件实现电路如图 5 所示。考虑到功耗问题以及逻辑电路稳定工作，发射机在发送数据之前 10ms 启动晶体振荡，然后调制基带信号。

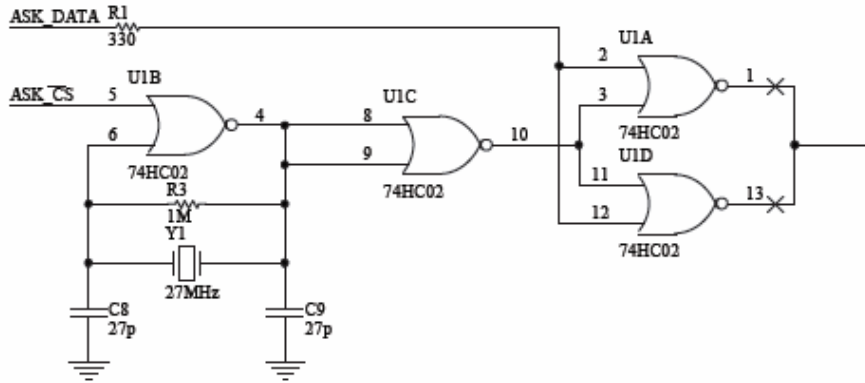


图 5 发射机硬件实现电路图

## 2.2 接收部分

### 2.2.1 SA636 接收机

SA636 是一款低电压供电，带有高速接收信号强度指示（RSSI）输出的 FM 接收机芯片，分析其内部结构框图。射频信号进入 SA636 与本振混频得到中频，然后经中频滤波器，进入中频放大器，再次对中频滤波，然后经中频限幅放大器输出，而 SA636 芯片内部的快速 RSSI（100kHz）根据中频放大器和中频限幅放大器获取 RSSI 信号。

由于该套通信系统所建立的信道是 ASK 信道，则可以根据该芯片的 RSSI 轻松实现 ASK 信号的解调。RSSI 的转换速率可轻松满足系统的最高通信速率。

### 2.2.2 中频滤波器

根据晶体 ASK 发射机和晶体振荡器的频率，接收机中频选取 11MHz，运用双调谐回路搭建带通滤波器，仿真及扫频仪测试结果，如图 6 所示。

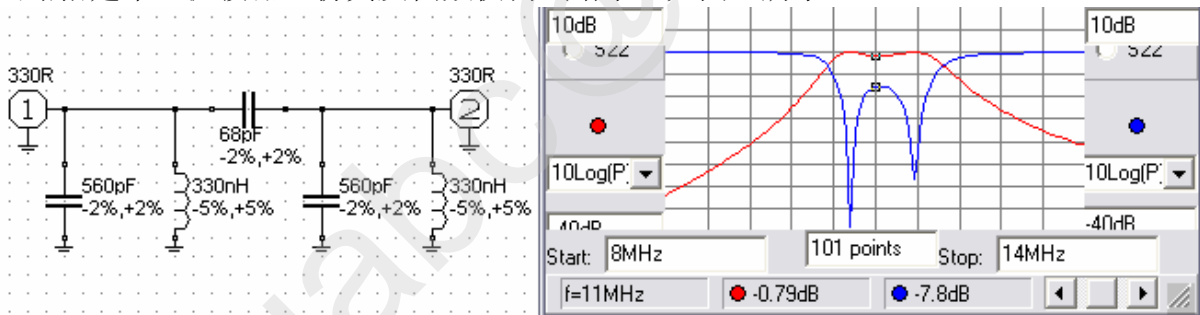


图 6 11MHz 中频滤波器

### 2.2.3 解调信号处理

接收机解调信号处理电路如图 7 所示。

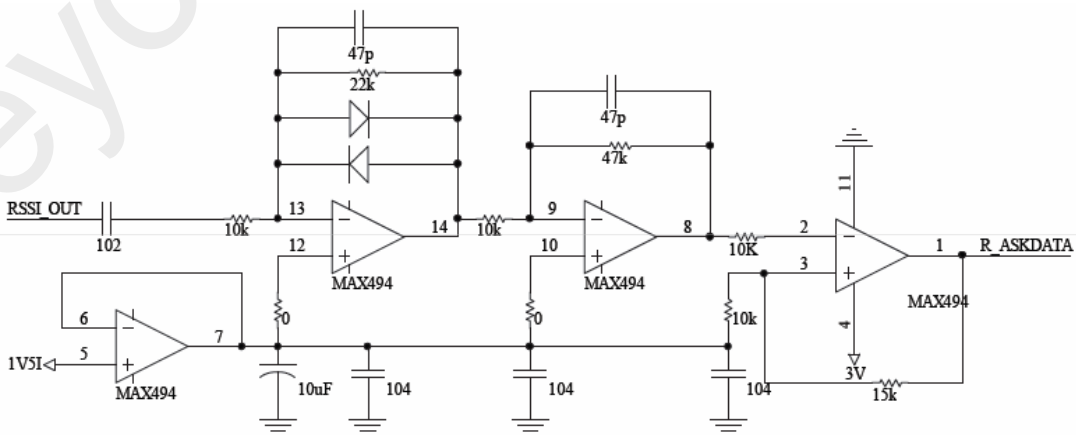


图 7 解调信号处理电路图

第一级运放做射随，稳定工作电平；第二级微分、限幅放大、有源低通滤波；第三级比例放大、有源低通滤波；第四级滞回比较，将接收机解调信号转换为数字信号。受供电电源电压以及信道的影响，选取低噪声，低电压，Rail-to-Rail 运算放大器 MAX494。

### 2.2.4 晶体振荡器设计

晶体振荡器采用考毕兹改进振荡电路，选取合适的静态工作点使其稳定工作在电源电压 3V 左右，产生 38MHz 本振信号，然后做一级缓冲放大，经 50MHz 切比雪夫低通滤波器，获得频谱成分较纯的本振信号。晶体振荡器振荡电路图如图 8 所示。

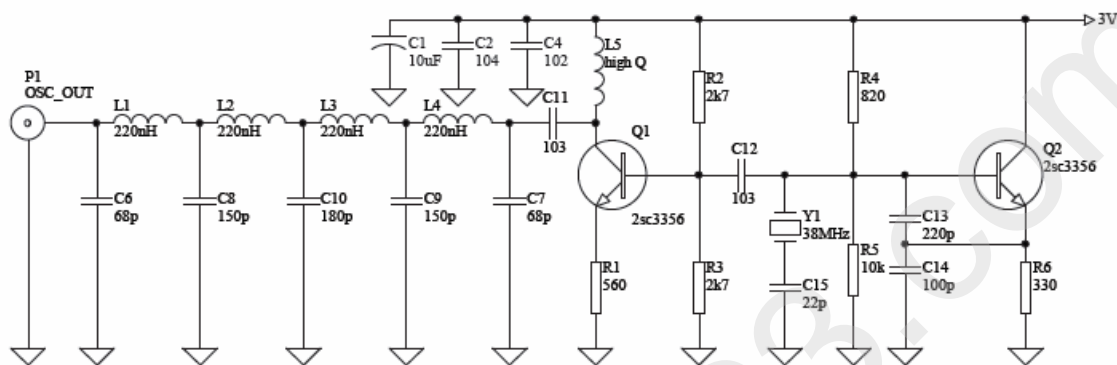


图 8 晶体振荡器振荡电路

## 2.3 传感器

光电传感器：采用硅光接收电池 BPW34 做光电传感，使用单片机片内 ADC 采集硅光电池输出电压，设置合适的门限电压，判别有无光照信息。

温度传感器：采用低电压供电 SPI 总线的数字温度传感器 TMP125，该温度传感器最大绝对误差小于 2℃，满足命题要求。

## 3 系统软件设计

### 3.1 通信协议

首先通过预置地址判断本机是监测终端还是探测节点，如果是监测终端则只广播请求数据指令和显示接收到的数据；如果是探测节点则通过接收到的数据判断通信网络的结构，以及本机在网络中的位置。然后根据自己在网络中的位置对接收到的不同的数据帧执行相应的命令，其中通信协议中的数据帧结构如表 1 所示。

表 1 通信协议中数据帧的结构

帧头 0x55, 0xAA		目的地址	数据	校验值
STR_1	STR_2	ADDR	DATA	CRC8

注：数据的最高位记录有无光照，其他位记录温度值。

若本机为监测终端，则每隔 100ms 广播请求数据指令 ADDR=0x00, DATA=0x00, 然后转到接收状态，等待探测节点的数据响应，接收到数据响应以后判断校验值是否错误，如果正确则显示响应的地址，温度，光照信息，接收数据次数加一，到 255 后清零；如果错误则丢弃数据。

若本机为探测节点，当收到 ADDR=0x00, DATA=0x00 时判断本机处于监测终端的通信范围内，然后立即响应传感器数据，接着转发监测终端的广播帧；当收到 ADDR=0x00, DATA=0xff 而在此之前没有收到 ADDR=0x00, DATA=0x00 时则本机无法直接与监测终端通信，本机发送自己的数据，并转发广播帧；当收到数据时自动转发此传感数据。

探测节点在接到数据帧后根据随机数发生器的值延时相应的时间然后发送相应的数据帧。

### 3.2 系统软件

系统软件由温度传感器、光电传感器、液晶、蜂鸣器和按键等硬件驱动程序和通信协议两部分组成。系统软件流程总框图如图 9 所示。

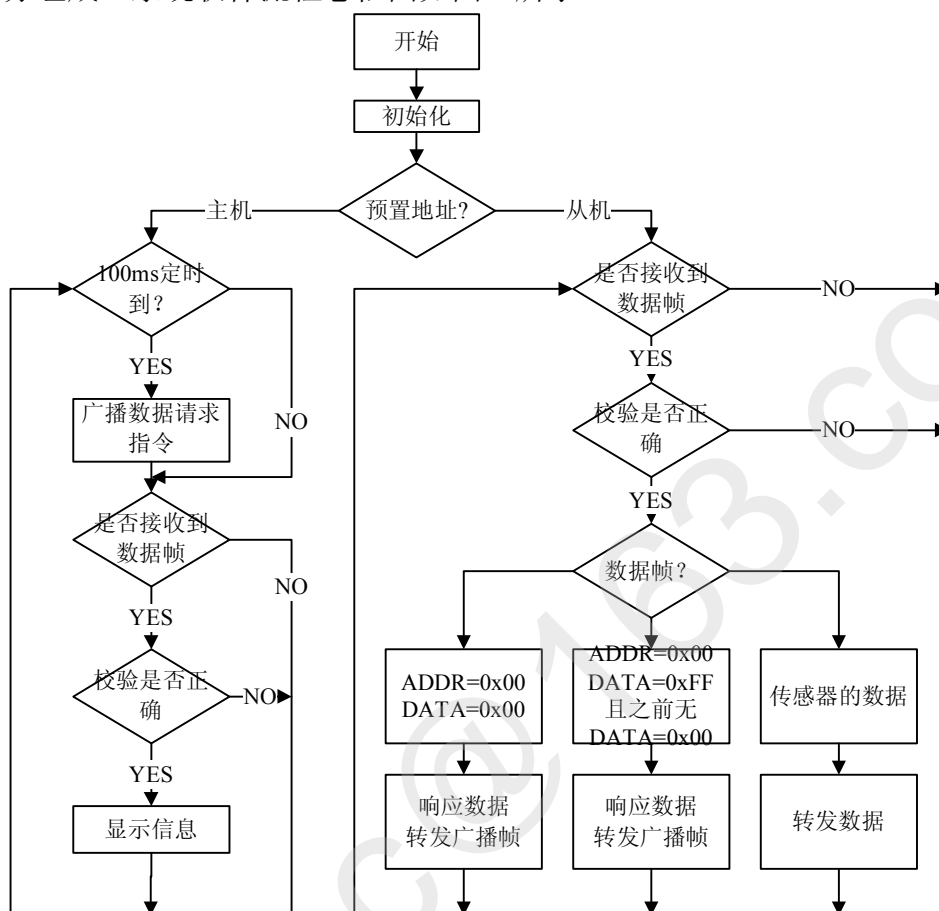


图 9 系统软件流程总框图

## 4 系统测试方案与测试数据

### 4.1 测试仪器

NFC-3000C 型多功能计数器，秒表，卷尺，四位半数字万用表。

### 4.2 载波频率测试

测试方法：使用 SMA 转 BNC 测试线连接频率计与测试端，频率计每隔 10s 对测试端显示一次读数。

表 2 载波频率测试

	标称值 (MHz)	10s (MHz)	20s (MHz)	30s (MHz)	40s (MHz)
载波一	27.000	27.000012	27.000013	27.000012	27.000012
载波二	27.000	26.999989	26.999992	26.999992	26.999991
载波三	27.000	27.000061	27.000061	27.000060	27.000061

测试结果分析：三套装置的载波频率测试值均在标称值附近，满足命题对载波频率所要求的低于 30MHz，经测试发现晶体振荡器的频率稳定度较高。

### 4.3 监测终端与各节点通信距离、响应时间及功耗测试

测试方法：固定监测终端位置，移动各个探测节点，观察监测终端的数据包接收数量是否变化，用卷尺测量探测节点到监测终端的有效通信距离。用秒表测量从改变光电

传感信息，到检测终端显示光照信息改变的时间。使用三位半数字万用表测量每个装置的电压和电流计算功耗。

**表 3 通信距离与响应时间的测试**

与监测终端通信距离 D/cm	探测节点 1			探测节点 2		
	10	30	45	10	30	45
与监测终端响应时间 t/s	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5

**表 4 功耗测试**

	电压/V	电流/mA	功率/mW
监测终端	3.04	22.6	68.7
探测节点 1	3.10	22.3	69.1
探测节点 2	3.06	22.1	67.6

测试结果分析：有效通信距离约为 45cm，超过 10cm，响应时间小于 5s，功耗较低。

#### 4.4 温度测量

测试方法，用温度计测量探测节点的温度，与监测终端显示的温度比较。

**表 5 温度测量**

温度计/°C	28.4	28.4	28.5	28.4
探测节点 1/°C	28	28	28	28
绝度误差/°C	0.4	0.4	0.5	0.4
探测节点 2/°C	28	28	28	28
绝度误差/°C	0.4	0.4	0.5	0.4

测试结果分析：温度误差小于 2°C。

#### 4.5 带有转发功能的探测节点与监测终端通信距离、响应时间及功耗测试

测试方法：将两个探测节点与监测终端摆放在同一直线上，探测节点在检测终端的同一侧，测量通信距离，响应时间及功耗，并且可以将两个探测节点交换进行测试。

**表 6 通信距离与响应时间的测试**

$D/cm$	$D_1/cm$	$D+D_1/cm$	响应时间 t/s
30	20	50	0.6
30	30	60	0.6
40	30	70	0.7

$D$ ：监测终端与探测节点 1 的通信距离； $D_1$ ：探测节点 1 与探测节点 2 的通信距离。

或  $D$ ：监测终端与探测节点 2 的通信距离； $D_1$ ：探测节点 2 与探测节点 1 的通信距离。

**表 7 功耗测试**

	电压/V	电流/mA	功率/mW
监测终端	3.02	23.0	69.5
探测节点 1	3.08	22.3	68.7
探测节点 2	3.06	22.5	68.8

测试结果分析：探测节点增加转发功能，通信距离能有效地增加，最远可达 70cm，响应时间小于 5s，功耗不超过 81mW。

### 5 系统创新点分析

任三个装置都可成为检测终端，并且整个系统支持在线地址更改。经测试，另增加一套探测节点，可实现两级转发功能。对于接收 ASK 信号，采用 FM 解调电路中的快速 RSSI 做解调，实现一机多用。使用了低功耗单片机 MSP430F147 作为控制核心。



## 6 附录

eyouabc@163.com