# 基于物联网的湿地无线监测系统的设计

陈雨佳，刘亚秋*，景维鹏
（东北林业大学 信息与计算机工程学院，哈尔滨 150040）

**摘 要**：针对当前湿地监测系统存在的人力浪费严重、部署不灵活等问题，设计并实现一种基于 ZigBee 和 GPRS 的物联网技术的湿地无线监测系统。该设计将 ZigBee 技术低功耗、易组网的特点与 GPRS 技术远距离通信的特点相结合，成功的运用到湿地监测上，建立远程湿地无线监测系统；该系统将 Cluster－Tree 路由算法和 AODVjr 路由算法相结合，在数据传输过程中有效的防止了 RREQ 的泛洪，提高了数据传输的成功率。通过以黑龙江扎龙自然保护区湿地为实验区进行实时监测，结果表明：此系统能够实现对湿地的远程实时无线监测，具有功耗低、成本小、误包率低等优点，对湿地的监测保护具有一定的意义。

**关键词**：湿地监测；ZigBee；GPRS；物联网
**中图分类号**：S 776；TP 274 **文献标识码**：A **文章编号**：1001－005X（2015）04－0077－06
DOI:10.16270/j.cnki.slgc.2015.04.018

# Design of A Wireless Monitoring System Based on the Internet of Things in Wetlands

Chen Yujia，Liu Yaqiu*，Jing Weipeng
（College of Information and Computer Engineering，Northeast Forestry University，Harbin 150040）

**Abstract**：In view of the problems such as serious human resources waste and awkward deployment in the current wetland monitoring system，a wireless monitoring system for wetlands is designed and implemented based on ZigBee and GPRS IOT technologies. The characteristics of ZigBee technology in terms of low power consumption and easy to organize network and GPRS telecommunications technology are successfully combined and applied in wetland monitoring and a remote wireless monitoring system is established for wetlands. The system combines Cluster-Tree routing and AODVjr routing algorithm，which can effectively prevent RREQ flooding in the data transmission process，and improve the success rate of data transmission. By taking Heilongjiang Zhalong Nature Reserve wetland as an experimental area for real-time monitoring，the practical monitoring indicates that this system is able to achieve real-time wireless remote wetland monitoring，with low power consumption，lower cost，lower error rate and other advantages，which has a certain significance for monitoring and protection of wetlands.

**Keywords**：wetland monitoring；ZigBee；GPRS；internet of things

湿地是重要的国土资源和自然资源，是自然界最富生物多样性的生态景观和人类最重要的生存环境之一[1]。但是，随着人类无限制的向自然索取，使周期性的植物优势在衰退，底层湿土水源趋减，甚至有被污染的威胁，湿地已潜伏着生态危机[2]。因此，加大对湿地的实时监测刻不容缓。

物联网（Internet of things）是互联网的延伸，利用局部网络或互联网等通信技术把传感器、控制器、机器、人员和物等通过新的方式联在一起，形成人与物、物与物相联，实现信息化、远程管理控制和智能化的网络[3－4]。物联网将是下一个推动世界高速发展的“重要生产力”，是继通信网之后的另一个万亿级市场[5]。因其注重“全面感知－稳定传输－智能应用”为一体，而成为众多领域的应用的新宠。目前，物联网在智能监测、监控领域的应用越来越广泛。物联网的应用也为实现湿地的无线监测提供了重要的技术支持。

随着信息技术的飞速发展，湿地监测正在向自动化、智能化发展。文献[6]提出了一种基于 ARM＋WLAN 的湿地无线监测的方法，由于目前的 WLAN 的覆盖范围多数集中在城市中，并且

收稿日期：2015－01－23
基金项目：哈尔滨市应用技术研究与开发项目（2013RFXXJ089）
第一作者简介：陈雨佳，硕士。研究方向：嵌入式计算。
* 通讯作者：刘亚秋，博士，教授。研究方向：信息控制与智能计算。E-mail：yaqiuliu@gmail.com
引文格式：陈雨佳，刘亚秋，景维鹏. 基于物联网的湿地无线监测系统的设计[J]. 森林工程，2015，31（4）：77－82.

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

ARM 设备与 WLAN 之间的通信功耗较大，对于湿地环境监测的应用可实施性不强；文献[7]基于遥感技术提出了湿地监测与生态评估的方法，此方法从宏观方向上，对湿地的植被情况进行了监测，这种基于 3S 技术的监测不具有实时性；文献[8]提出了一种基于视听一体的无线传感器网络湿地监测系统，此系统集成了专业的相机、麦克风设备和 Wi－Fi 模块，来对湿地的植被和动物进行长时间的监测，这种监测系统用到了图像监测技术和 Wi－Fi 技术，由于图像监测只可对于有辨识度的事物进行监测，对于像水质情况、湿地的温、湿度等湿地指标不能够进行直接监测，另外，此系统中用到的 Wi－Fi 是需要自己设立发射基站，成本高、功耗大，对于湿地的全方位实时监控具有局限性。基于以上不足，本设计充分的利用了 ZigBee 技术的易组网、低功耗、短距离无线通信等特点和 GPRS 的低成本、远距离无线通信的特点，提出了一种基于 ZigBee 和 GPRS 技术的物联网湿地无线监测系统。由于湿地环境中芦苇等植物的高低、稀疏稠密度不一致等情况，直接的影响到监测节点之间的通信质量，Cluster－Tree 路由算法采用非自适应的路由选择，决定了其选择的路由可能不是最佳的[9]；AODV 路由算法易产生链路故障，从而增加网路的开销[10-11]，单一路由算法已经不能满足湿地环境节点通信的需要，本系统采用了 Cluster－Tree 算法和 AODV 的改进算法 AODVjr 算法相结合的路由算法，实现了监测节点的组网与相互之间的通信，实现了实时、高效、准确的湿地监测，对湿地的防护和监测有着重大的的意义。

## 1 系统的整体方案设计

基于物联网的湿地监测系统的设计主要可以分为四个部分：终端监测节点的设计、网关节点的设计、路由算法的设计和远程服务器端管理系统的设计。本设计中的终端监测节点选用了 SHT71 温、湿度传感器、201T－S 塑壳 pH/ATC 三复合电极和 DO500 溶解氧传感器，来对湿地的地表温、湿度和湿地的水质的 pH 值、溶解氧量进行数据采集；网关节点选用了 SAMSUNG 公司的 ARM920T 为核心的 S3C2440A 来作为处理器，协调器节点通过串口直接与网关节点相连，GPRS 模块采用了 Siemens 公司的 MC39I 模块，以此来实现与控制中心的数据传输功能；本设计的路由算法将 Cluster－Tree 算法与 ADOVjr 算法相结合，运用于无线传感器网络中；远程服务器端管理系统采用了 web 技术实现对湿地数据的管理。湿地无线监测系统的整体架构图如图 1 所示。

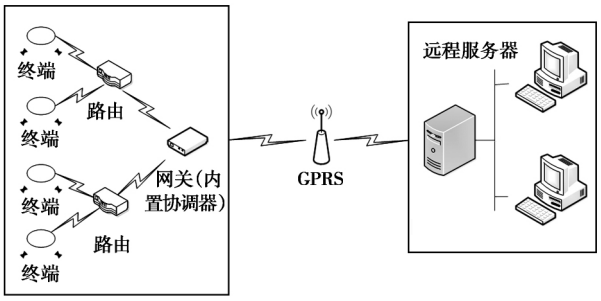


图 1 湿地无线监测系统整体架构图

Fig. 1 The overall architecture diagram of the wetland wireless monitoring system

## 2 系统监测节点设计

无线传感器网络节点由数据采集终端节点、路由节点、和协调器组成。无线传感器网络中的节点采用 CC2430 作为核心芯片，该芯片支持 ZigBee 和 IEEE802.15.4 等多种标准。各个节点的供电模块采用蓄电池供电，以此来提高节点的易部署的特点。

### 2.1 终端节点的硬件设计

数据采集终端节点采用 201T－S 塑壳 pH/ATC 三复合电极来监测湿地水质的 pH 值，测量范围 －2.00 ~ 19.99 pH，精度 0.01/0.1 pH，基本误差：±0.01 pH；采用 DO500 来监测湿地水质的溶解氧，测量范围 0 ~ 200.0%，精度 0.1/1%，示值误差 ±0.30 mg/L，这两个传感器均可以没入湿地水环境中，且测量值较敏感，精确度高。对于湿地地表的温、湿度的数据采集模块使用 Sensirion 公司推出的基于 CMOSensTM 技术的新型温湿度传感器 SHT71，此芯片的特性如下：湿度测量范围：0 ~100%；温度测量范围：－40 ~ 123.8℃；湿度的测量的精度：±3.0%；温度的测量精度：±0.4℃；接口为 I2C 总线；工作电流 550μA，待机电流 0.3μA。有上述参数可知，SHT71 为数字型的传感器，可以经 I2C 总线直接与 CC2430 处理器相连接，而 pH 复合电极和溶解氧复合电极可直接与 CC2430 的 P0 口相连接，利用 CC2430 内部的 ADC 来实现数据的转换。终端节点硬件结构图如图 2 所示。

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

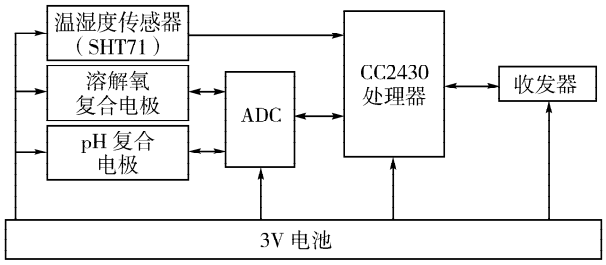


**图 2　终端节点硬件结构图**

Fig. 2 The terminal node hardware structure diagram

### 2.2　终端节点的软件设计

湿地环境具有波动小的特点，本设计的终端节点采用定时休眠唤醒的机制，数据采集节点在整个系统初始化完成后，开始进入休眠状态，定时器达到定时时间时，相应的传感器开始被唤醒进行数据采集，并将采集的数据发送给路由节点，终端节点进入休眠状态，经过路由节点的汇聚后经协调器发送给网关节点，网关节点把接收的数据进行二次加工，通过 GPRS 网络发送至数据管理中心，完成数据的采集与传输工作。具体的数据采集终端节点的伪代码如下。

```
ZDODeviceSetup( )
{
    Osal_ start_ Systerm( ) ;     //初始化终端节点
    终端节点申请加入网络;
    While( 申请加入网络失败)
    {
        申请加入网络;
    }
    发出网络绑定请求;
    While( 网络绑定失败)
    {
        发出网络绑定请求;
    }
    While( 1)
    {
        节点传感器采集数据;
        发送数据;
        While( 发送失败)
        {
            发送数据;
        }
        节点进入休眠态;
        Delay( n) ;  //延时 30 min 使监测节点进入休眠状态
    }
}
```

### 2.3　网关节点的硬件设计

网关节点作为无线传感器网络与服务器端数据传输的桥梁，需要具有较快的处理速度、较强的信息管理功能和丰富的硬件外围接口资源。本设计采用了 SAMSUNG 公司的以 ARM920T 为核心的 S3C2440A 处理器来作为网关，它是 16/32 位 RISC 架构，具有强大的指令集，主频 200 ~ 522MHz，内核电压 1.8V，功耗低，处理速度快，非常适合大量数据处理的需要。考虑到系统实施的可靠性，故将协调器节点直接通过串口和网关节点相连接，可以极大的增加数据传输的传输速率。GPRS 模块采用 Siemens 的 MC39I 模块来完成网关与实地控制中心的远程无线通信，MC39I 支持 GSM900 和 GSM1800 双频网络，接收速率可达 86.20kb/s，发送速率可达 21.5kb/s，完全满足无线传感器网络较小的数据传输量的需求。在整个系统启动后，网关节点要首先完成网络的自组网，之后，将汇聚在协调节点的数据通过串口将数据发送到 S3C2440A 处理器，并将处理好的数据存入 SD 卡中缓存，之后将缓存的数据经过 GPRS 发送到指定 IP 的服务器端，从而来完成数据的传输。

### 2.4　网关节点的数据设计

网关节点主要来完成 ZigBee 无线传感器网络的协调器与 GPRS 模块之间的数据的通信。ZigBee 模块中的协调器在初始化 ZigBee 协议栈之后，等待网关 S3C2440 处理器发出组网的命令，当接收到命令后，网络层首先向 MAC 层请求分配协议所规定的信道，或者由 PHY 层进行有效信道扫描，网络层管理实体等待信道扫描结果，然后根据扫描结果选择可允许能量水平的信道。当寻找到合适的信道后，随机的为这个新建的网络选择一个个域网标识符( PANID) ，这时候网关节点将 0x0000 作为自身的短网络地址，并且完成相应的初始化工作，之后，网络层发出网络启动的 request，网络建立并启动完成，协调器等待接收数据并且间隔 5s 向网关处理器发送数据，若协调器接收的数据来自 ZigBee 网络，则对这些数据进行二次打包处理，在协调器的间隔时间达到时，把数据发送至网关处理器暂存；若数据来自处理器，则协调器对数据进行解析，根据相应的解析命令发送至监测节点。协调

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

器的数据处理如图3所示。

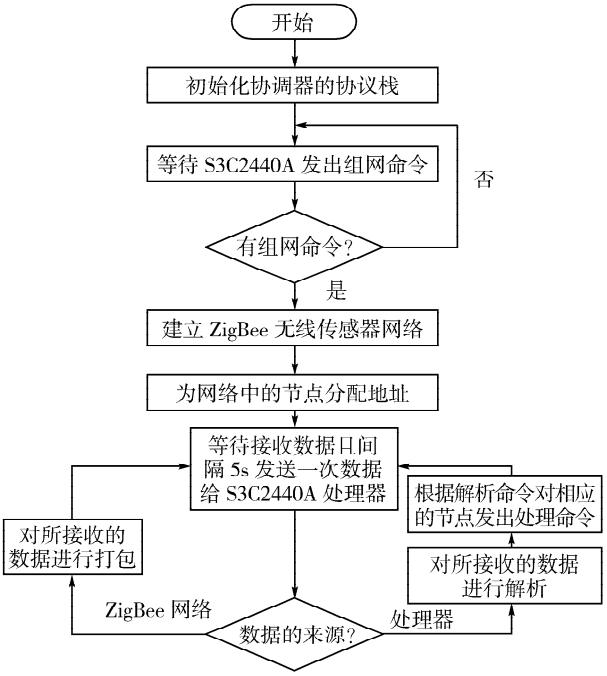


**图3 ZigBee 协调器程序运行流程图**

Fig. 3 Flow chart of program operation for ZigBee coordinator

GPRS 模块通过 TCP/IP 协议与互联网连接，从而与服务器端完成通信，通过串口与网关节点相连，网关处理器在 GPRS 完成初始化后，等待服务器端的命令，当接收到组网命令后，将组网命令发送给协调器节点，进入等待接收数据状态，若数据来自 GPRS，则从所接受的数据中解析出控制命令，通过串口将数据发送至协调器；若数据来自协调器，则直接通过串口将数据发送给 GPRS；接收完成数据，继续进入等待接收数据状态。网关处理器的程序流程图如图4所示。

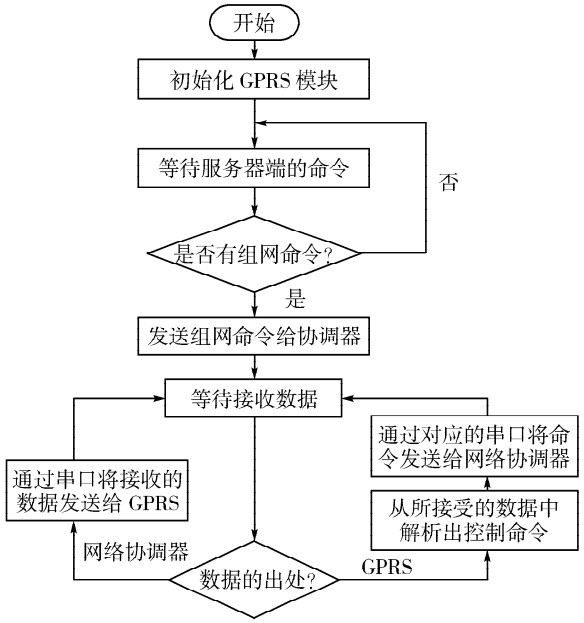


**图4 网关处理器的程序流程图**

Fig. 4 The flow chart of gateway processor program

## 3 ZigBee 路由算法

ZigBee 技术是有 ZigBee 联盟推出的一种基于 IEEE802.15.4 标准的近距离、低复杂度、低功耗、低数据传输率、低成本的新型无线通讯技术[12]。网关节点采用了 ZigBee2006 协议结构，多个传感器节点之间的通信采用“接力”的方式进行，从而可以达到高的通信效率。

湿地环境中芦苇等植物的高低、稠密度不同，以及地势的复杂性等特点，给 ZigBee 无线传感器网络的监测节点的通信可靠性带来了极大的干扰，给原本采用单一路由算法的通信机制带来了制约，针对这种湿地的特殊的环境特点，本设计无线网络的路由算法采用了 Cluster-Tree 与 AODVjr 相结合的路由算法。其中 Cluster-Tree 算法是消息沿着树形拓扑进行传输的算法，它是静态的，无需存储路由表；而 AODVjr 算法是 Ad-Hoc 网络按需距离矢量路由算法的改进，比 AODV 算法更节能，应用性更强。本设计终端采集节点采用 Cluster-Tree 路由算法进行通信，非终端节点使用 AODVjr 路由算法去发现路由，直接将消息发送到它可以到达的其他的路由节点，以此来提高网络效率。

Cluster-Tree 路由协议又称树状路由协议，当路由节点加入到网络以后，路由节点会得到自己的地址，并且每个路由节点都会为子节点预留地址空间，树状路由协议不需要存储路由表，数据的传输按照树的方向在父节点与子节点之间进行简单的传输。

ZigBee 中规定深度为 $d$ 的父节点分配的地址之间的偏移量是 $Cskip(d)$，$C_m$ 是最大子节点个数，$R_m$ 是子节点中最大的路由节点个数，$L_m$ 是最大网络深度。假设父节点的地址是 $A_f$，如果新加入的节点是终端节点，说明该节点不可以为其它节点分配地址，且该终端节点是其父节点的第 $n$ 个终端节点，则父节点为子节点分配的地址 $A$ 为:

$$A = A_f + Cskip(d) \times R_m + n(1 \leqslant n \leqslant C_m - R_n)。 \quad (1)$$

如果新加入的节点是父节点的非终端节点，且为第 $n$ 个，此节点有可能为其它的节点分配地址，

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

父节点为此节点分配的地址 $A$ 为:

$$A = A_f + 1 + Cskip(d) \times (n-1)\ (1 \leqslant n \leqslant R_n)。 \tag{2}$$

其中:

$$Cskip(d) = \begin{cases} 1 + C_m \times (L_m - d - 1) & R_m = 1 \\ \dfrac{1 + C_m - R_m - C_m \times R_m^{L_m - d - 1}}{1 - R_m} & \text{其它} \end{cases}。 \tag{3}$$

通过这种路由分配机制，每个具有路有功能的节点可以为其子节点分配应有的地址块。规定目的节点的地址是 $D$，根据目的节点 $D$ 来判断目的节点是否是该节点的子节点，如果满足公式(4)，则此节点是该节点的子节点。

$$A < D < A + Cskip(d-1)。 \tag{4}$$

如果目的节点不是该节点的子节点，则将此数据包向上传送至父节点；若是该节点的子节点，则其下一跳的地址为:

$$N = \begin{cases} D & \text{目的节点是其子节点} \\ A + 1 + \dfrac{D - (A+1)}{Cskip(d)} \times Cskip(d) & \text{其它} \end{cases}。 \tag{5}$$

AODVjr 路由算法是基于 AODV 路由算法改进的，AODV 路由算法易产生广播风暴，AODVjr 算法取消了目的节点序列号，使命令帧更加简化，简化路由过程，AODVjr 算法通过取消 HELLO 数据包的发送，节点仅通过接收到的数据包来更新邻近路由表，从而极大的减小了控制的开销。

本设计中的路由算法通过采用 Cluster - Tree 与 AODVjr 相结合的路由算法，极大的增加了无线传感器网络的传输可靠性，减少了传输控制的路由开销，为监测节点之间的数据传输奠定了基础。

# 4　结果与分析

## 4.1　实验结果

本设计首先在实验室进行了软硬件的设计开发和调试，在系统的调试趋于稳定后，进行了湿地的现场测试。现场测试的地点选在了黑龙江扎龙湿地保护区，在保护区东口子水域部署了 1 个网关节点，3 个路由器节点，每个路由器节点下面有两个终端节点组成树状结构。部署时，pH 复合电极和溶解氧复合电极没入水中，SHT71 温湿度传感器固定到约与地面距离 0.5 m 处，终端节点与各自的路由节点之间的距离约 80 m，数据的采集周期设为每 30 min 采集一次，每完成一次采集向湿地监测中心发送一次数据，设备启动后 1 min 之内完成组网，在服务器端可以查询监测节点的监测数据，如图 5 所示。

| 日期 | 时间 | 采集节点 | 空气温度 | 相对湿度 | pH值 | 溶解氧（mg/L） |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2014-10-1 | 9:10 | 节点2 | 2.2 | 56 | 8.32 | 1.2 |
| 2014-10-1 | 9:40 | 节点2 | 2.5 | 56 | 8.32 | 1.3 |
| 2014-10-1 | 10:10 | 节点2 | 2.9 | 55 | 8.33 | 1.5 |
| 2014-10-1 | 10:40 | 节点2 | 3.7 | 50 | 8.34 | 1.3 |
| 2014-10-1 | 11:10 | 节点2 | 4.9 | 51 | 8.32 | 1.5 |
| 2014-10-1 | 11:40 | 节点2 | 5.2 | 52 | 8.32 | 1.6 |
| 2014-10-1 | 12:10 | 节点2 | 7.5 | 50 | 8.34 | 1.5 |
| 2014-10-1 | 12:40 | 节点2 | 7.9 | 45 | 8.34 | 1.2 |
| 2014-10-1 | 13:10 | 节点2 | 7.1 | 43 | 8.32 | 1.3 |
| 2014-10-1 | 13:40 | 节点2 | 6.8 | 44 | 8.33 | 1.2 |
| 2014-10-1 | 14:10 | 节点2 | 6.7 | 42 | 8.34 | 1.2 |
| 2014-10-1 | 14:40 | 节点2 | 7.2 | 41 | 8.32 | 1.3 |
| 2014-10-1 | 15:10 | 节点2 | 6.3 | 40 | 8.32 | 1.3 |
| 2014-10-1 | 15:40 | 节点2 | 5.8 | 40 | 8.33 | 1.4 |
| 2014-10-1 | 16:10 | 节点2 | 6.2 | 45 | 8.33 | 1.5 |
| 2014-10-1 | 16:40 | 节点2 | 4.8 | 46 | 8.34 | 1.6 |
| 2014-10-1 | 17:10 | 节点2 | 4.2 | 45 | 8.35 | 1.6 |
| 2014-10-1 | 17:40 | 节点2 | 3.2 | 50 | 8.33 | 1.6 |
| 2014-10-1 | 18:10 | 节点2 | 2.7 | 53 | 8.33 | 1.5 |

图 5　扎龙湿地监测中心监测软件界面

Fig. 5 The monitoring software interface of Zhalong wetland monitoring center

## 4.2　可靠性测试

根据对终端采集节点发送的数据包和网关节点接收的数据包的统计，可以计算出数据包发送的成功率，用公式(6)进行计算。

$$P = \frac{R}{S} \times 100\%。 \tag{6}$$

式中：$P$ 为数据包发送的成功率；$R$ 为网关正确接收数据包的个数；$S$ 为各个终端节点发送数据包的总个数。本设计将终端节点与协调器节点的距离由 20 m 移动到 150 m 时，设置不同的间距，通过终端节点发送数据包与协调器接收数据包的个数来计算数据包发送成功率。测试结果见表 1。

表 1　测试结果

Tab. 1 The test results

| 距离/m | 发送数据包/个 | 接收数据包/个 | 发送成功率/% |
|---|---|---|---|
| 20 | 1 427 | 1 427 | 100 |
| 40 | 1 234 | 1 234 | 100 |
| 60 | 1 687 | 1 649 | 97.74 |
| 80 | 1 743 | 1 679 | 96.32 |
| 100 | 1 923 | 1 814 | 94.35 |
| 120 | 2 152 | 1 939 | 90.10 |
| 150 | 1 653 | 1 448 | 87.63 |

从表 1 可以看出，数据包的发送成功率随着距离的增大而逐渐降低，在终端节点与协调器的距离在 120 m 之内时，其发送成功率在 90% 以上，可

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

以满足数据通信需要。根据实验数据，监测节点之间的距离大于80 m后，实验的数据的发送成功率低于了95%，针对本实验的数据的丢包率较高，所以本设计在扎龙自然保护区实地测量时，节点间的距离设置为80 m时，这样可以很好的达到实验的要求。

## 5 结 论

基于物联网的湿地无线监测系统充分利用了ZigBee技术的短距离、低功耗、易组网的特点和GPRS技术的远距离通信的特点，建立了低功耗的扎龙湿地远程无线监测系统，实现了对扎龙湿地自然保护区湿地环境的地表温度、湿度、湿地水资源的pH值和溶解氧浓度的实地测量，并对实验结果进行了分析，本系统具有功耗低、成本小、误包率低等优点，在湿地无线监测方面具有重要的参考价值。同时，由于本系统是基于通用性设计，稍加扩展，便可以应用于环境监测的其他领域，如水文、气象等，因此，具有广泛的应用前景。由此可见，随着物联网技术在智能监测中的应用，必将加速传统监测方式向现代智能监测方式的转变，提升我国湿地监测和发展的水平，对湿地监测具有重要的意义。

## 【参 考 文 献】


[1] 刘红玉，林振山，蔡春晓. 中国湿地资源研究动态与发展趋势——纪念中国自然资源学会成立30周年[J]. 资源科学，2013，(35)：1765－1771.

[2] 张立富，丛 屾，李玉萍，等. 反求工程技术在快速成型中的应用现状及发展趋势[J]. 林业机械与木工设备，2014，42(6)：4－5＋12.

[3] 韩大勇，杨永兴，杨 杨，等. 湿地退化研究进展[J]. 生态学报，2012，(32)：289－303.

[4] 刘 岩. 基于原野服务器的湿地生态环境监测与保护研究[J]. 林业机械与木工设备，2013，41(8)：55－57.

[5] Gubbi J，Buyya R，Marusic S，et al. Internet of Things(IOT)：A vision，architectural elements，and future directions[J]. Future Generation Computer Systems，2013，29(7)：1645－1660.

[6] Trappeniers L，Feki M A，Kawsar F，et al. The internet of things：the next technological revolution[J]. Computer，2013，46(2)：24－25.

[7] Jiao J，Ma H，Qiao Y，et al. Design of Farm Environmental Monitoring System Based on the Internet of Things[J]. Advance Journal of Food Science & Technology，2014，6(3)：368－373.

[8] Wang K，Dong Y，Wang T W. Application of embedded wetland monitoring system based on ARM[J]. Journal of Northeast Forestry University，2009，37(4)：102－104.

[9] Wang Y，Li H，Jiang Z，et al. A system of wetland monitoring and Eco-health assessment based on 3S[A]. In：Proceedings-2010 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems，2010，3：449－451.

[10] Li X，Cheng X，Yang R，et al. Design and implementation of an audio-visual integrated wireless sensor remote monitoring network on Wetland[A]. Mechatronic Sciences，Electric Engineering and Computer(MEC)，Proceedings 2013 International Conference on. IEEE[C]，2013：609－614.

[11] Del-Valle-Soto C，Mex-Perera C，Orozco-Lugo A，et al. On the MAC/Network/Energy Performance Evaluation of Wireless Sensor Networks：Contrasting MPH，AODV，DSR and ZTR Routing Protocols[J]. Sensors，2014，14(12)：22811－22847.

[12] Karaboga D，Okdem S，Ozturk C. Cluster based wireless sensor network routing using artificial bee colony algorithm[J]. Wireless Networks，2012，18(7)：847－860.

[13] Jeni P R J，Juliet A V，Bose A M. A Secured and Reliable Route Maintenance Mechanism for AODV Routing Protocol[J]. International Journal on Information Technology(IREIT)，2014，2(2)：56－62.

[14] Salleh A，Aziz A，Abidin M Z，et al. Development of greenhouse monitoring using wireless sensor network through ZigBee technology[J]. International Journal of Engineering Science Invention(IJESI)，2013，2(7)：6－12.


[责任编辑：胡建伟]

(上接第76页)


[4] 谢 芳，杨红果. 数字PID改进算法的分析与实现[J]. 焦作师范高等专科学校学报，2010，21(02)：13－16.

[5] 杨德刚，姜 磊，贾文杰. 数字PID与其算法改进的研析[J]. 中国科技信息，2010，10(14)：12－15.

[6] 王效杰. 基于变结构控制的两轮自平衡小车系统设计与实现[D]. 西安：西安电子科技大学，2006，10(13)：23－26.

[7] 康少华，王爱荣，解 亚，等. 一种实用的功率MOS管电机驱动电路[D]. 天津：军事交通学院，2011.

[8] 张三川. 两轮自平衡电动车的结构设计与有限元分析[J]. 郑州：郑州大学学报，2010，3(1)：21－22.

[9] 杨兴明，丁学明，张培仁，等. 两轮移动式倒立摆的运动控制[J]. 合肥：合肥工业大学学报(自然科学版)，2005，28(11)：1485～1488.

[10] 梅晓榕. 自动控制元件及线路[M]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学出版社，2004.

[11] 王祯祥. 两轮自我平衡机器人之前后行走控制[D]. 台湾：国立中央大学，2003.

[12] 蔡侨伦. DSP主控之两轮机器人平衡与两轮同步控制[D]. 台湾：国立中央大学，2004.

[13] 谭卢敏，冯新刚. MEMs陀螺仪在检测小车运动状态中的应用[J]. 科技广场，2009(1)：184－185.

[14] 袁泽睿，两轮自平衡机器人控制算法的研究[D]. 哈尔滨：哈尔滨工业大学，2006.


[责任编辑：胡建伟]

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net