

# 基于 WSN 野外冻土地温自动监测系统的设计

李娟娟 雷斌

(西安工业大学电子信息与工程学院 西安 710021)

**摘要:** 针对目前野外冻土环境监测中点多面广、环境恶劣等问题,提出了一种基于 WSN 野外冻土区地温监测系统。该系统分为现场监测站和数据中心的设计两部分,现场监测站采用 WSN 网络,通过 ZigBee 技术,蓝牙串口通信和 3G 网络将监测数据传输给远程服务器;数据中心负责监测数据的接收、存储、以及显示。通过实际验证,该系统能够实现高寒高海拔冻土地区地温的实时监测,直观反映了冻土区地温的变化,使冻土研究人员能够及时获知冻土地温的变化。

**关键词:** WSN; ZigBee; 地温监测

**中图分类号:** TP316.8      **文献标识码:** A      **国家标准学科分类代码:** 520.40

## Design of monitoring system for permafrost geothermal in the wild based on WSN

Li Juanjuan Lei Bin

(Electronic Information Engineering of Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** In view of the problems of the vast area and multi points and the harshing environment of the wild field, this paper introduces a kind of monitoring system for permafrost geothermal in the wild based on WSN. The system includes the designs of the monitoring station in the wild and the data center. The monitoring station based on the WSN completes the transmission of monitoring data to remote server through ZigBee technology, Bluetooth serial port, and 3G. Receiving, saving, transoming and displaying of the monitoring data realize by the data center. The experiment proved that this system can realize the real-time monitoring in high-cold and high-altitude area, making the permafrost researchers learn the change of ground temperature of permafrost in time by showing the monitoring data visually.

**Keywords:** WSN; ZigBee; geothermal monitoring

### 1 引言

冻土的工程特性与温度、土质、含冰量等密切相关。冻土是一种对温度极为敏感且性质不稳定的土体。冻土特性的变化不仅在一定程度上反应出气候的变化,而且其对冻土区的铁路和公路损害相当严重。为了获取冻土相关特性的信息,都需要对其进行实时监控,冻土地温的监测能够为研究冻土的土质特性提供基础信息,确保冻土区的铁路和公路能够长期安全的运行,使冻土区不会因为冻土变化对铁路、公路造成不可挽回的损失。长期以来野外地温监测主要依靠人工监测的手段,受环境影响大且不稳定,有部分监测点虽已采用自动数据采集方法,但是传感器节点的布线很复杂,大大增加了工程的成本,而且使系统的维护和观测的增加变的很困难,已无法满足冻土区大

规模的野外监测需求。本系统采用 WSN 无线传感器网络,受地理环境约束小,网络结构灵活,采用自组织方式,实现联网通信。当有新节点加入时,网络可自动接纳,该系统具有自动监测和远程自动上报功能,具有灵活性好,稳定性高等优点。

### 2 系统总体概述

本系统主要有地温现场监测站和数据中心两部分构成。如图 1 所示为系统的整体框架。现场监测站完成了监测数据到数据中心的传输。在地温现场监测站中布设多个 ZigBee 节点在监测区域,待系统唤醒后,各个传感器节点以多跳的方式将数据汇集到中心节点,中心节点经蓝牙串口通信将数据传递到 Android 网关,网关经 3G 将数据传输到数据中心的服务器;数据中心负责数据的处理和

收稿日期:2015-06

显示,实现监测数据的终端查询与显示。

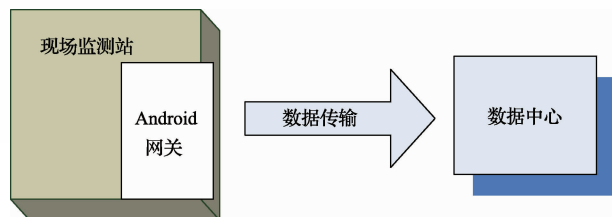


图1 系统整体框架

### 3 现场监测站结构设计

如图2所示为现场监测站地温监测示意。在监测区域布置的大量测控节点,组成WSN网络后对监测区域内的地温进行采集,并以多跳的方式将数据汇聚到中心节点,中心节点通过蓝牙将数据传输给Android分中心,Android分中心经3G将监测数据上报给远程服务器,实现了监测数据的底层采集、传输、上报功能<sup>[1]</sup>。

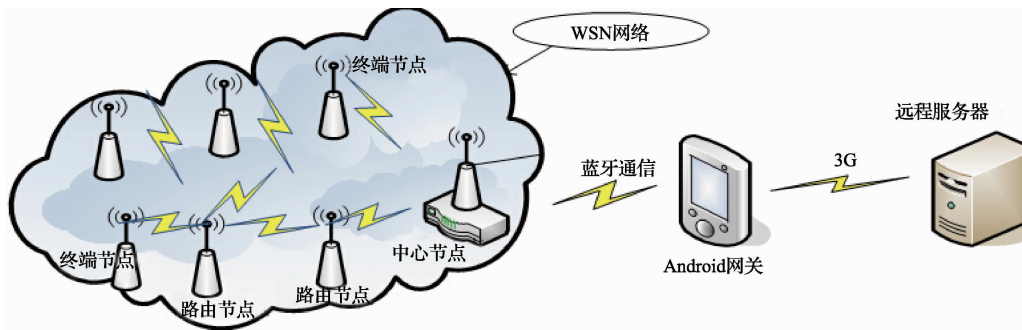


图2 地温监测示意

#### 3.1 ZigBee 组网与数据的传输

本系统采用 ZigBee 组网技术。ZigBee 是一种近距离、低功耗、低成本的无线通信技术。传输速率为 20~250 kb/s,传输距离为 10~75 m。如图3为 WSN mesh 网状拓扑结构<sup>[3]</sup>,终端节点(End Device)经路由节点(Router)以多跳的方式汇聚到中心节点(Co-ordinator)。

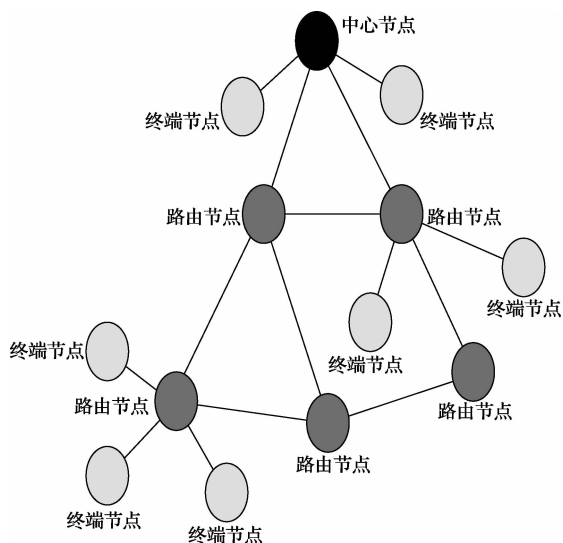


图3 WSN mesh 网状拓扑

1)中心节点(Co-ordinator)的主要功能是组成网络和数据包的转发,如图4中(a)为中心节点通信流程图,终端节点加入网络后,中心节点把终端节点汇总的数据发送给Android网关。

2)终端节点(End Device)也就是网络拓扑结构中的从节点。如图4中(b)为终端节点通信流程图,终端节点加入中心节点建立的网络后,将采集到的数据发送至中心节点<sup>[4]</sup>。

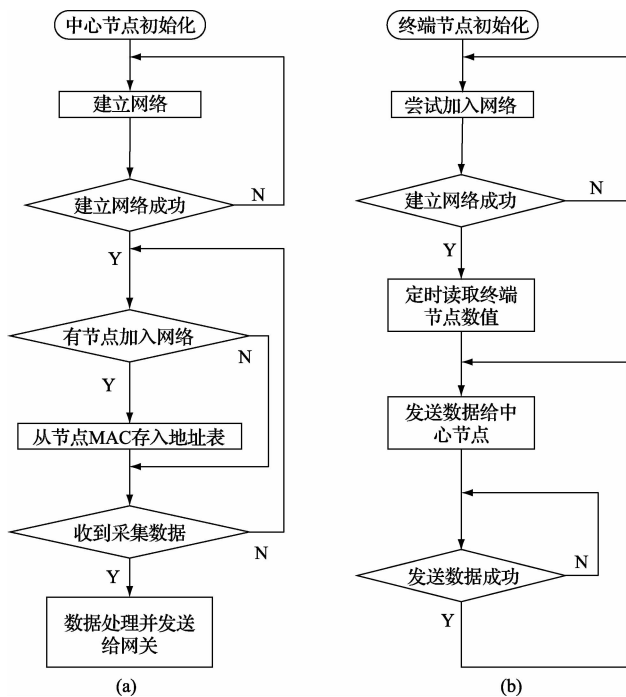


图4 节点流程

#### 3.2 网关的通信

现场监测站创新的采用了具有当今主流操作系统的智能手机作为网关,网关通过自带蓝牙与中心节点上的蓝牙模

块建立连接,获取节点数据<sup>[5]</sup>;通过 3G 实现网络连接,将节点采集的数据传给远程服务器。如图 5 所示为网关通信示意。

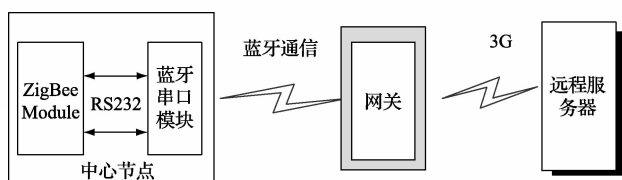


图 5 网关通信示意

### 3.2.1 网关与中心节点的通信

中心节点和蓝牙模块通过串口连接,中心节点通过蓝牙模块与 Android 手机自带的蓝牙适配器进行配对,完成数据从中心节点到网关的传输<sup>[6]</sup>。如图 6 所示为中心节点蓝牙模块与 Android 蓝牙的通信流程图:通过调用静态方法 getDefaultAdapter() 获取蓝牙适配器,启动蓝牙成功后,使用 BluetoothAdapter 类里的方法搜索到指定蓝牙,经 MAC 地址比对连接成功,创建蓝牙 socket,通过调用 getInputStream() 和 getOutputStream() 方法来获取输入输出流。然后调用 read(byte[]) 和 write(byte[]) 来读取或写入数据,判断是否完成传输,若完成则结束通信<sup>[7]</sup>。

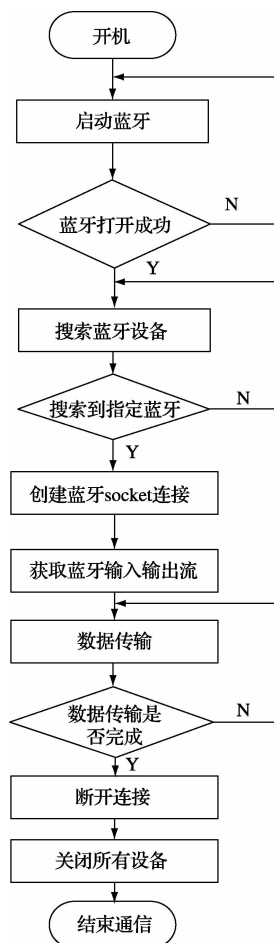


图 6 蓝牙通信流程

### 3.2.2 网关与远程服务器的通信

网关与远程服务器的通信采用基于 TCP/IP 可靠传输的远程上报方式 FTP(file transfer protocol), 本系统采用 FTP 被动模式(PASV), 如图 7 所示为被动模式工作示意。Android 网关通过配参表中预先导入的远程服务器的参数(ServerIP、ServerPORT、UserName、Password)登录服务器端, 登录成功后客户端(Android 网关)向服务器的 FTP 端口 21 发送连接请求, 服务器接受连接, 建立一条命令链路。当需要传送数据时, 服务器在命令链路上用 PASV 命令告知客户端, 所以客户端向服务器的开放端口发送连接请求, 建立一条数据链路来传送数据。

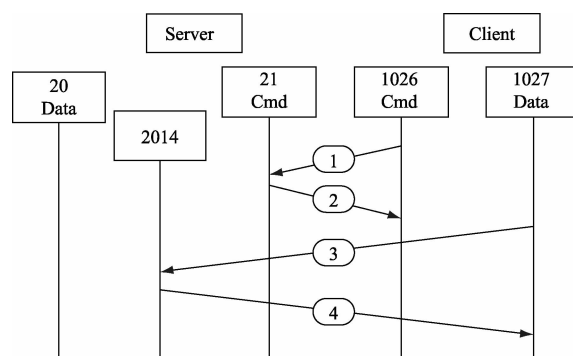


图 7 网关与服务器的通信

文件传输协议 FTP 实时将网网关接收到的数据以 XML 文件上报到远程服务器, 如图 8 所示为服务器上已打开的 XML 文件显示了 2015-01-29T12:12:20 节点 15 的 13 个采集的值。

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<Nebula_DocV43 ZoneID="B420" Dtime="2015-01-29T12:12:20">
  <node NodeID="GTA64Z1_5E5BA503004B1209" NodeName="域网关">
    <Info id="1" name="location" unit="char">"北麓河试验段"</Info>
  </node>
  <node NodeID="ZCP64A1_17AC1904004B1200" NodeName="中心节点">
    <Info id="1" name="BatVolt" unit="volt">6.6</Info>
    <Info id="2" name="EqpTemp" unit="centigrade">4.8</Info>
    <Info id="3" name="EqpHumi" unit="percent">14.0</Info>
  </node>
  <node NodeID="ZRR29T1_697A1904004B1200" NodeName="15#">
    <Info id="1" name="BatVolt" unit="volt">5.3</Info>
    <Info id="2" name="GrndTemp" unit="ohm">2755.458</Info>
    <Info id="3" name="GrndTemp" unit="ohm">3731.052</Info>
    <Info id="4" name="GrndTemp" unit="ohm">3344.701</Info>
    <Info id="5" name="GrndTemp" unit="ohm">2600.040</Info>
    <Info id="6" name="GrndTemp" unit="ohm">2425.299</Info>
    <Info id="7" name="GrndTemp" unit="ohm">2687.649</Info>
    <Info id="8" name="GrndTemp" unit="ohm">2388.338</Info>
    <Info id="9" name="GrndTemp" unit="ohm">2544.554</Info>
    <Info id="10" name="GrndTemp" unit="ohm">2692.511</Info>
    <Info id="11" name="GrndTemp" unit="ohm">2435.462</Info>
    <Info id="12" name="GrndTemp" unit="ohm">2544.663</Info>
    <Info id="13" name="GrndTemp" unit="ohm">2535.740</Info>
  </node>
</Nebula_DocV43>

```

图 8 服务器上 XML 文件的显示

#### 4 数据中心的设计

如图9所示为数据中心整体设计。现场监测站的Android网关监测数据上报给FTP服务器后,由数据中

心的数据收发解析服务器扫描位于公网的FTP服务器,接收和解析监测数据,并将数据发送到数据库服务器中,供数据显示终端抽取数据并进行数据处理、显示和检索。

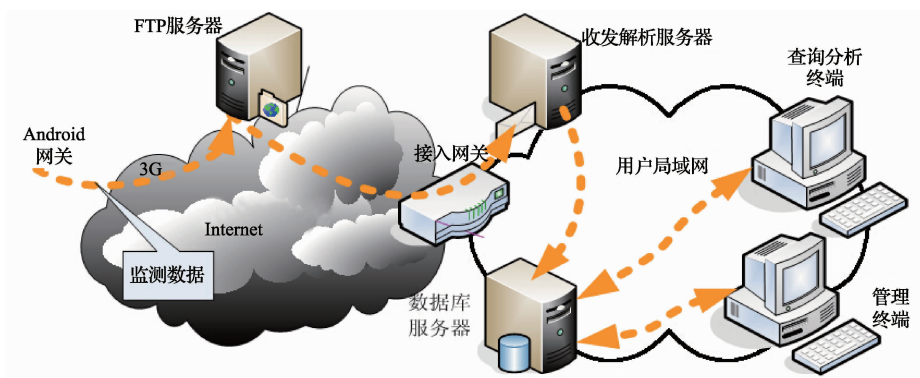


图9 数据中心整体设计

##### 4.1 数据中心接收数据原理

收发解析服务器实际上是一个后台运行的Windows服务进程。它将定期扫描FTP服务器,若发现FTP服务器中有Android网关发回的监测数据文件,将接收该文件

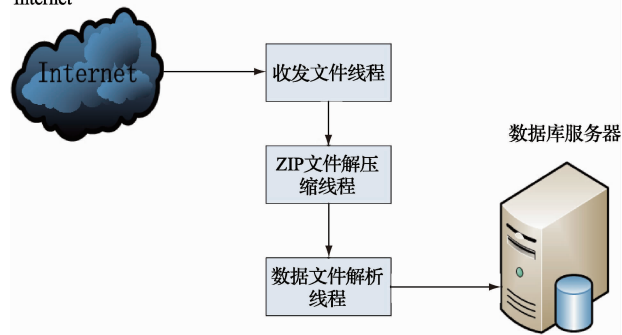


图10 收发解析服务器功能结构

并将所包含的监测数据写入数据中心数据库<sup>[8]</sup>。收发解析服务内部有多个线程:收发文件线程、ZIP文件解压缩线程、文件解析线程。如图10所示为收发解析服务功能结构。

1)收发文件线程:当服务启动后,收发文件线程每隔15 min检查数据库,当收到文件后,将ZIP格式的文件交给ZIP文件解压缩线程。

2)ZIP文件解压缩线程:将ZIP格式的压缩文件解压缩后将得到的实际文件交给数据文件解析线程。

3)数据文件解析线程:数据文件解析线程将最终的处理结果写入数据库。

##### 4.2 数据的显示

数据中心最重要的是提供数据查询和显示终端软件。数据查询和显示终端软件能够将Android发回的数据进行有效整理和存储,如图11所示为监测数据在界面的实时显示<sup>[9]</sup>。



图11 监测数据在界面的显示

### 4.3 系统测试

在野外冻土区进行 WSN 网络地温采集的稳定性测试,在满足条件的区域内安放 ZigBee 采集节点,组建由 1 个中心节点,3 个路由节点和 10 个终端节点构成的 WSN 无线传感器网络进行地温的采集,将中心节点通过串口与 PC 相连,打开 SSCOM 串口助手,通过多次的测试,串口测试结果如图 12 所示。由于野外环境的恶劣,建筑物的阻挡等因素的干扰,随着中心节点和终端传感器节点距离的增大,WSN 地温采集数据的稳定性下降,如图 13 为实测结果的稳定性分析,中心节点和终端节点稳定距离为 90 m,不稳定距离为 100 m。总体而言该系统 WSN 地温采集稳定性比较好。

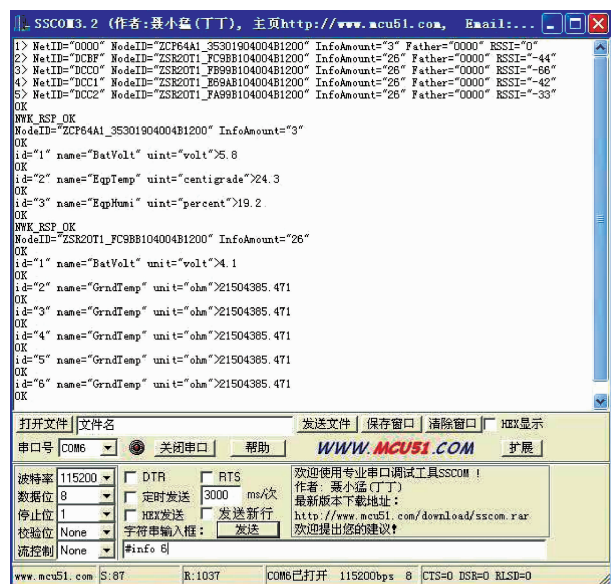


图 12 中心节点数据测试

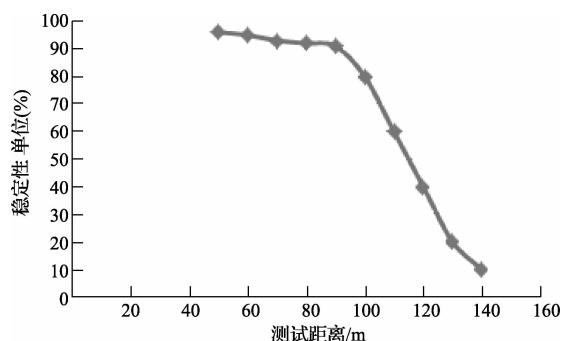


图 13 系统稳定性测试

## 5 结论

本系统将无线传感网络引用到数据采集系统中,充分

利用了无线传感网络的优势,避免了有线传输挖沟布线的麻烦,大大减轻了高频度野外监测数据获取的难度。利用 ZigBee 技术、蓝牙通信、3G 网通信,实现了数据从底层到远程服务器的上报;通过数据中心的设计实现了数据的显示、检索,大大方便了冻土研究人员实时获知冻土特性参数的变化。所研制的系统能适应高寒、高海拔地区地温的监控,比如祁连山冻土区和青藏高原冻土区。所以本系统的研究对野外冻土地区地温监测具有深远的意义。

### 参考文献

- [1] 王战备. 基于 ZigBee 的农田信息监测网络设计[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(8): 42-45.
- [2] 吕宏, 黄钉劲. 基于 ZigBee 技术低功耗无线温度数据采集及传输[J]. 国外电子测量技术, 2012, 31(2): 58-60.
- [3] 陈晓艳, 高伟, 秦欢, 等. 基于 GPRS 与 ZigBee 的 LED 路灯智能监控系统设计[J]. 电子测量技术, 2013, 36(10): 62-66.
- [4] 焦尚彬, 宋丹, 张青, 等. 基于 ZigBee 无线传感器网络的煤矿监测系统[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(5): 436-442.
- [5] 周伟, 石为人, 张洪德, 等. 无线传感器网络的分布式目标跟踪研究[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(7): 1485-1491.
- [6] 魏崇毓, 张菲菲. 基于 Android 平台的视频监控系统设计[J]. 计算机工程, 2012, 38(14): 214-216.
- [7] 罗富财. 基于 Android 平台的蓝牙通信系统的研究与实现[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
- [8] ELSON J, ROMER K. Wireless sensor networks: a new regime for time synchronization [J]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 2003, 33(1): 149-154.
- [9] 李霞婷, 宋茜. 一种基于 Web Service 远程控制系统的设计与实现[J]. 无线互联科技, 2012, 27(3): 64.
- [10] 曹保钰, 张传书, 江帆, 等. 基于 Web 网页的矿井提升机远程监控系统的设计[J]. 机床与液压, 2013, 41(5): 184.

### 作者简介

李娟娟, 1990 年出生, 西安工业大学硕士。主要研究方向为远程测控技术。

雷斌, 1966 年出生, 副教授。主要研究方向为无线传感器网络、虚拟现实技术、地理信息系统等。

E-mail: 657348660@qq.com