

冻土路基温湿度无线监测系统

孟上九¹, 李 想^{1,2}, 孙义强¹, 王 淼¹

(1. 哈尔滨理工大学 土木工程防灾减灾研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150080;

2. 哈尔滨理工大学 测控技术与通信工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 季冻区路基在冻融作用下常常发生冻胀、融沉等病害, 其中路基土的温、湿度水平是致灾的重要因素。针对现有监测手段单一, 路基温、湿度全时空监测困难等问题, 利用远程无线传输技术, 设计了一种基于 GPRS(通用分组无线服务) 通信技术的季冻土路基温、湿度双参数监测系统, 可以实时监测路基温、湿度变化。系统采用土壤专用的温、湿度传感器作为采集终端; 以 STC89C52 单片机作为主控制器, 通过编辑 AT 指令控制 GPRS 连通网络和数据收发, 实现温、湿度数据远程传输和存储。经实际验证该系统采集精度高、稳定可靠、操作方便, 可实现对季冻土路基内部温、湿度的实时无损监测。

关键词: 季节冻土; 温湿度监测; GPRS 通信

DOI: 10.15938/j.jhust.2018.03.012

中图分类号: TN929.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2018)03-0066-06

Design of the Frozen Soil Roadbed Temperature and Humidity Wireless Monitoring System

MENG Shang-jiu¹, LI Xiang^{1,2}, SUN Yi-qiang¹, WANG Miao¹

(1. Disaster Prevention Research Center for Civil Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China;

2. School of Measure-control Technology and Communication Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: The seasonal roadbed of the frozen soil often frost, heave, thaw and settle under the circumstance of frozen and thawed. Among all the factors that cause such damage, temperature and humidity levels are the most significant. According to the problems like too simple measure and monitoring methods, hard to have all space-time monitoring and measure of roadbed and so on in the past, we use remote wireless transmission technique to design two-parameter of monitoring and measure system of temperature and humidity in the roadbed of seasonal frozen soil based on the GPRS(General Packet Radio Service) communication technique which can real-time monitor and measure the change of temperature and humidity of the roadbed. The system uses special-purpose soil sensors of temperature and humidity as collection terminals; uses STC89C52 single chip as the main controller to achieve remote transmission and storage of data of temperature and humidity by editing AT commands to control GPRS network connection and data sending and receiving. We have tested this system and prove that it is a system of high-precision of collection, stabilization, reliability, simple operation which can be used for real-time and undamaged monitoring and measure of temperature and humidity of inner-roadbed of seasonal frozen soil.

Keywords: seasonal of frozen soil; temperature and humidity monitoring; GPRS communication

收稿日期: 2016-05-28

基金项目: 黑龙江省自然科学基金(E2016045); 国家自然科学基金(51378164)。

作者简介: 李 想(1991—), 男, 硕士研究生;

孙义强(1991—), 男, 硕士研究生。

通信作者: 孟上九(1971—), 男, 博士, 教授, E-mail: iemmsj@163.com。

0 引言

季节性冻土在世界范围内广泛分布,而季冻区公路路基在冻融循环作用下易发生冻胀、融沉等灾害,使路基失稳乃至破坏,土体湿度(即含水量)和温度的变化是导致诸多道路灾害的直接因素。因此,连续获取季冻区路基土温度和湿度数据及其变化规律对防治路基冻融破坏具有重要意义^[1]。

在季冻区路基温湿度研究与监测方面,Konard^[2]等通过对室内试验的研究描述了路基土在正冻状态下的结构形成和水分迁移的计算模型。何东坡^[3]等利用DS18B20温度传感器获得了路基内部在不同时期、深度的温度分布状况。毛雪松^[4]等利用自主研发的温度-湿度-荷载综合模型在室内进行模拟路基冻融循环实验。韩春鹏^[5]等进行寒区公路路基温度场的自动监测,并分析了温度特性。受季冻区恶劣自然环境和现场条件限制,目前已有的温湿度测监方法较为繁琐、能实现温湿度现场联测的比较少。

本文从季冻土路基的温湿度监测实际需求出发^[6],设计一种基于GPRS多传感器的冻土路基温湿度监测系统。该系统以GPRS网络为基础,利用GPRS网络平台接入Internet网络,建立数据采集终端与监测中心之间的通信连接,并进行实际验证。

1 系统总体结构

系统采用硬件和软件组合的设计方式。系统硬件由温湿度传感器、主控制器、GPRS模块和电源模块构成的数据采集终端,其功能包括数据的采集、处理、存储、发送和电源的提供。系统软件的组成包括采集端软件编写和后端远程服务器即监测中心的建立,服务器将数据由代码的形式转变为人们易懂的文字和图表形式,实现异地远程监测。系统整体结构如图1所示。

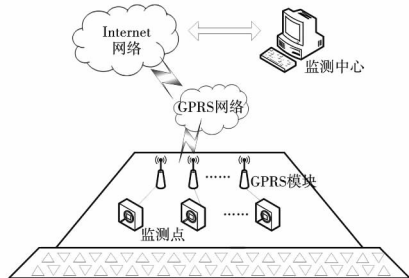


图1 系统整体结构图

2 系统硬件设计

为了满足现场实际的测量需求,适应我国广大的季节性冻土区域的环境特点,系统应克服高寒和潮湿等自然条件,能够做到长期可持续发展的并且免维护的稳定运行。系统硬件在设计必须具有抗低温、防潮湿、耐腐蚀、抗干扰能力强、测量精度可靠、能量可持续和便于安装等特点。

系统硬件即数据采集终端^[7],以STC89C52RC-40I工业级单片机作为主控制器,外围硬件包括高精度的温度传感器SHT20,土壤型湿度传感器SMS-II-100,四频GPRS模块SIM800,电源模块以及串口模块等。以上各硬件模块的工作温度范围都在 $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ 且满足工业级环境要求,可减少低温和其它条件的干扰,系统数据采集终端的硬件结构框图如图2所示。

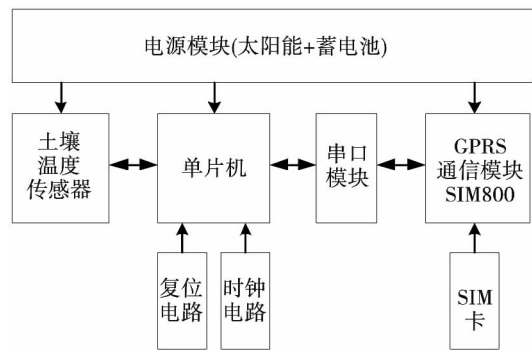


图2 数据采集终端硬件结构图

温度和湿度传感器将采集到的数据转换成电信号发送给STC89C52单片机,单片机经过分析和处理,并通过AT指令控制GPRS模块将数据发送到监测中心,考虑到土壤温湿度在一天当中的变化较为缓慢,为减少系统能量损耗采用DS1302N时钟芯片作为时钟电路控制时间,初步设定采集的时间间隔为2h^[8]。

2.1 温湿度传感器模块及其封装

监测路基温度采用Sensirion公司生产的SHT20温湿度传感器,它配有能隙温度传感器和相对湿度传感器,内部由放大器、A/D转换器、OTP内存和数字处理单元组成。传感器温度测量量程为 $-40^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$,精度在负温下的误差为 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$,具有超快响应、抗干扰能力强等优点^[9]。封装后可直接埋于土壤里进行温度测量。SHT20与单片机的接线电路如图3所示。

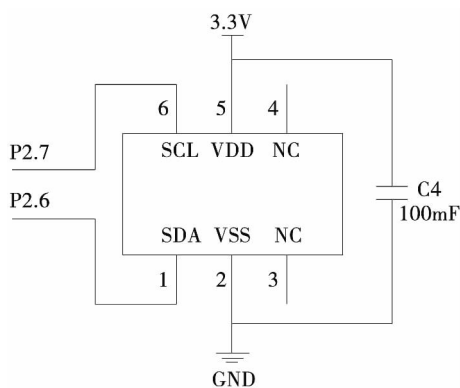


图3 温度采集接口电路

SHT20 输出的数字信号是采用标准的 I²C 总线进行通讯,控制器可通过 I²C 总线进行命令的发送和数据的读取,该芯片由 4 引线封装,易与单片机连接和通信。

虽然 SHT20 同样具有测量湿度的能力,但它只能测量空气湿度,土壤湿度和空气湿度不具有相同的定义,故测量方法也不同。由于受到季冻土路基内部监测环境影响,这就要求湿度传感器具有耐低温、响应快、抗干扰能力强等优点^[10]。本设计采用大连祺峰科技的土壤型湿度传感器 SMS-II-100,它的湿度测量量程为 0~100%,测量精度 5% RH (最大值),其内部等效为串联 RLC 谐振电路如图 4 所示。

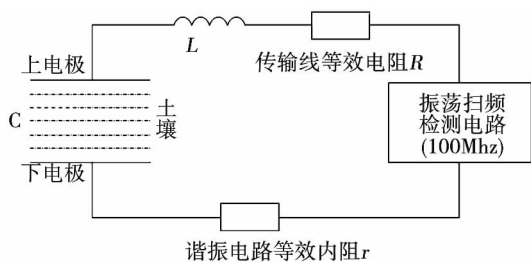


图4 传感器内部等效电路

SMS-II-100 是基于 FDR(频域反射技术)的一种土壤含水量传感器,它利用电磁脉冲原理、根据电磁波在介质中传播频率来测量土壤的表观介电常数 ϵ ,从而得到土壤容积含水量 θ_v ^[11]。因为传感器采取电压输出,还需通过模数转换器 ADC0832 将模拟信号转换为数字信号。

温度传感器 SHT20 要长期的埋在土体里面进行测量,这对于传感器内的集成电路来说是一种极大的考验,在众多不安全因素中,水的存在对电路破坏性是最大的,因此在埋设之前必须要对传感器进行封装处理。SHT20 采用灌封处理,在传感器外加

上一层护套,护套由铜颗粒烧结和 PE 材料构成,特点是防水透气,对测量值无任何干扰。而湿度传感器的不锈钢探针要与土壤接触不要求特定的封装,传感器实物如图 5 所示。



图5 传感器实物图

2.2 电源电路设计

由于监测系统需放置在野外环境中工作,布置电线比较困难,且数据的采集周期长。实验证明,选择太阳能电池板加铅酸蓄电池的供电方案,经济实用^[12]。系统采取 30 W 的单晶硅电池板,蓄电池采用 12 V/20 Ah 的铅酸蓄电池供电,电池板和蓄电池之间由基于智能芯片控制的多功能光伏充放电管理系统 EPOW-PS10 进行控制。为了进一步节省电量,在非工作时间,通过软件设计将系统置于低功耗状态。

系统外部的输入电压为 12 V,STC89C52 单片机供电电压和湿度传感器 SMS-II-100 允许供电电压均为 5 V,温度传感器 SHT20 的最佳工作电压为 3.3 V,GPRS 无线模块 SIM800 的工作电压为 4 V,因此本系统需要的电压有 5 V、3.3 V 和 4 V。12 V 转 5 V 的电源采用美国 NS 公司的 LM2596 芯片来实现,转换电路如图 6 所示。

3.3 V 的电源部分采用先将 12 V 通过 LM2596 转成 5 V 之后,再通过芯片 LM1117-3.3 V 来实现,防止因压差过大导致芯片发热。对于 SIM800 模块来说,当以最大功率发射时,电流峰值瞬间最高可达 2 A,所以采用 MICREL 公司的大电流低电压稳压芯片 MIC29302 提供电源。两种降压电源电路见图 7。

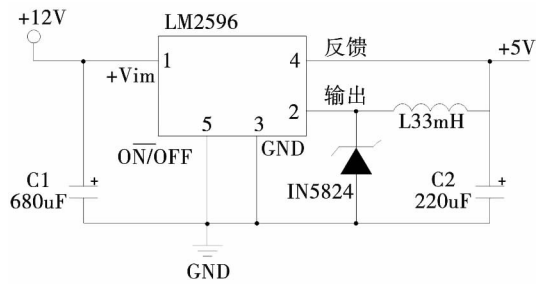


图6 5V电源电路图

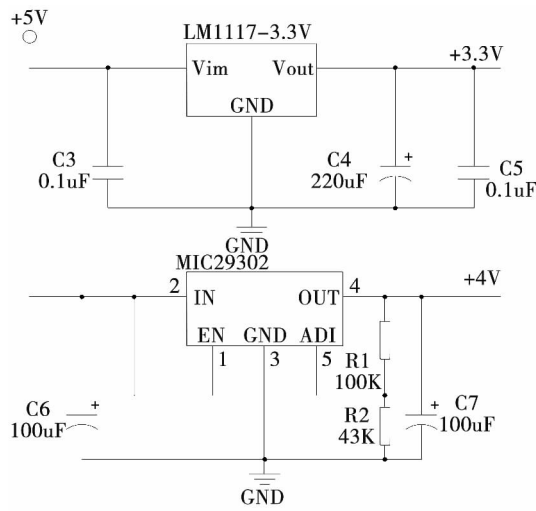


图7 3.3V和4V电源电路图

2.3 GPRS与单片机接口电路

GPRS模块采用SIMCOM公司的工业级四频SIM800芯片,可以低功耗实现语音、SMS、传真信息和数据的传输。其中SIM800采用RS-232异步传输标准接口,接口电平采用RS-232电平。因为单片机的串口采用的是与RS-232不同的TTL电平,成功的实现两者通信必须进行电平转换。设计采用MAXIM公司生产的,包含两路接收器和驱动器的MAX232芯片作为电平转换芯片。通信接口电路如图8所示。

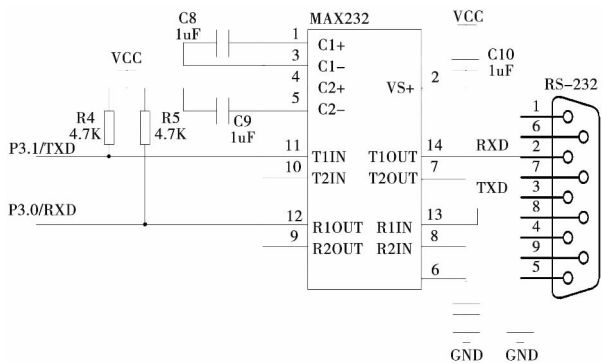


图8 GPRS与单片机接口电路

3 系统软件设计

3.1 数据采集终端软件设计

数据采集终端软件设计可以分成系统初始化、GPRS初始化、单片机控制温湿度传感器采集和读取程序、单片机与GPRS模块的串口通信程序、GPRS模块网络连接和数据发送程序、时钟电路提供系统时钟程序等。数据采集终端的主程序流程图如图9所示。

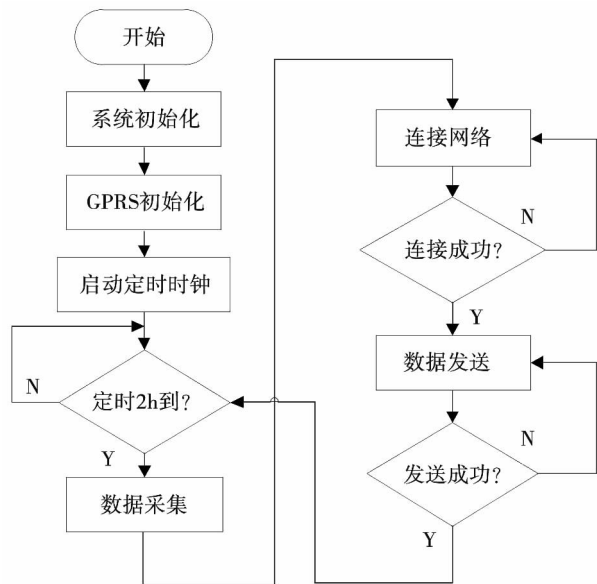


图9 数据采集终端的主程序流程图

3.2 GPRS通信

GPRS是一种基于GSM系统的通用无线分组服务技术,提供端到端的广域无线IP连接。SIM800内集成TCP/IP协议栈,TCP称为传输控制协议,主要目的是进行大量数据的传输并确保无误,它提供了错误检测、数据复原和超时重发等机制来保证数据的可靠传输^[13]。

单片机与GPRS模块通过串口进行数据交互,使用AT指令控制GPRS模块^[14]。若单片机发送指令正确,SIM800将返回OK或其它指令,错误则返回ERROR或其它指令。单片机通过返回的指令来确定下一步的执行程序。单片机控制GPRS连接网络程序流程图如图10。

3.3 监测中心软件设计

系统的监测中心软件采用Microsoft公司Visual Basic 6.0版本的可视化编程软件设计而成^[15],通过VB6.0的Winsock控件的监听功能监听来自GPRS模块的TCP连接请求。当服务器监听到连接请求

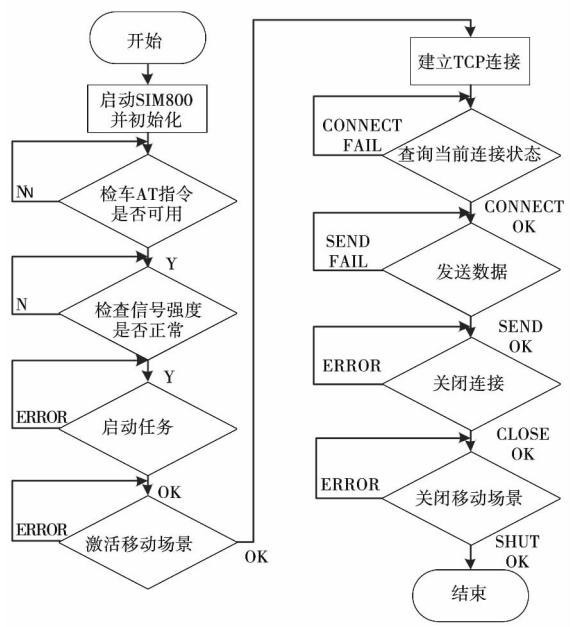


图10 单片机控制 GPRS 连接网络流程图

后,采集到的数据被 TCP/IP 协议栈打包,GPRS 主动通过连接 Internet 网络,按照预先设置好的 IP 地址和端口号呼叫远程服务器。服务器接收到请求并确认正确后接受建立 Socket 连接接收数据,然后拆包并将数据写入到 Access 2007 数据库中,完成了数据的显示、存储和管理,提供了友好的人机交互界面^[16]。监测中心软件可以通过选择不同的监测点,接收并实时显示此点的温湿度数据,还可显示当日的天气情况,以及对历史数据的读取和打印。监测中心软件设计流程图和操作界面分别如图 11、图 12 所示。

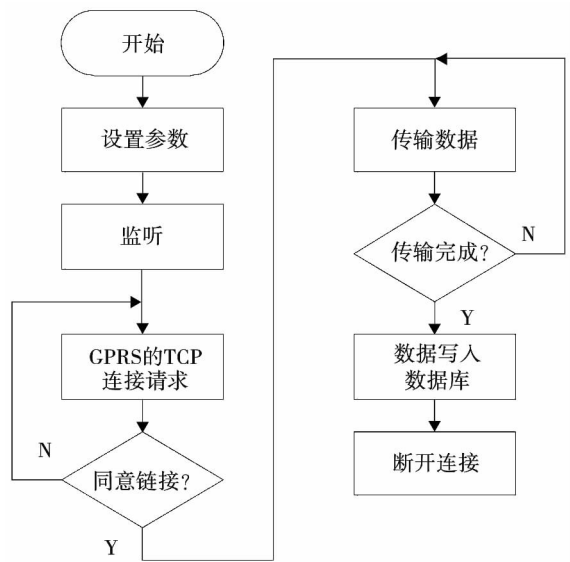


图11 监测中心软件设计流程图

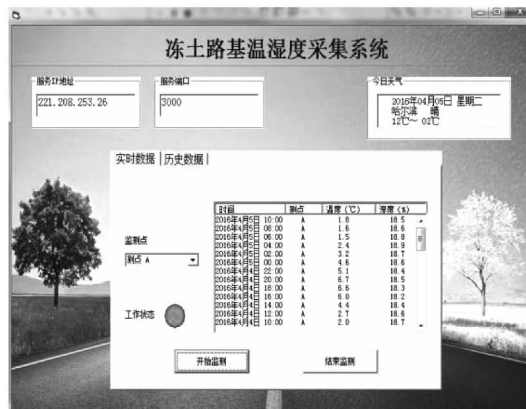


图12 监测中心操作界面

4 实验结果与分析

在试验场地选取两组测试点,其中测点 A 距离地面 10 cm,测点 B 距离地面 30 cm,每组各由一只温度和湿度传感器组成。两组传感器埋设如图 13 所示。

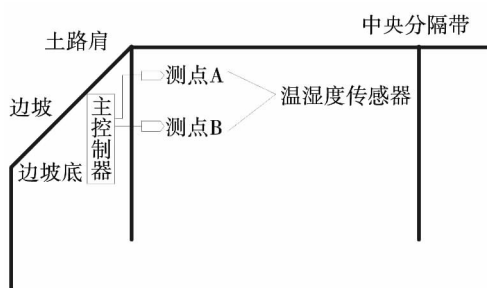


图13 传感器埋设示意图

监测系统实测数据绘制的温、湿度曲线如图 14 和图 15 所示。

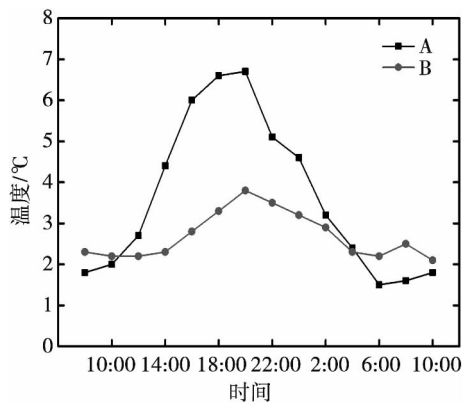


图14 测点 A 和测点 B 时间—温度曲线

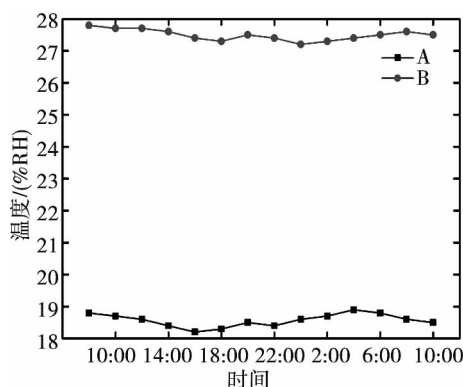


图 15 测点 A 和测点 B 时间—湿度曲线

通过对监测点 26 个小时(4 月 4 日上午 8 点 - 4 月 5 日上午 10 点)的实时自动监测绘制的温度曲线可以得出以下结论: 路基土的温度在一天内是不断变化的, 在日出前后温度达到最低, 日出后路基温度不断上升, 在当日下午 3 时达到最大值, 随后尽管日照强度减弱, 但地面热量仍有累积, 热量向下传导使路基温度继续上升, 在下午 7 点左右达到峰值, 随后路基温度开始下降。由于热量在传递过程中的损耗, 不同深度温度不同, 从图中可以看出深度为 10 cm 的温度变化较大, 而 30 cm 的温度变化较小。

从上图的路基湿度曲线来看, 路基的湿度在一天当中同样会发生变化, 但变化并不明显。而湿度在路基深度上存在很大差异, 从表层到 30cm 深度路基含水量呈增加趋势。但这并不说明路基土的含水量一直稳定, 因为在春季融雪以及夏季大雨都会导致路基含水量的急剧变化, 所以既需要对此进行长期观测, 又需要有以“天”为单位的加密实时监测, 监测系统的后续工作将为此展开。

5 结 论

本文从道路安全监测角度出发, 设计实现了一套季冻区路基温、湿度实时采集系统。使用小型化的土壤温、湿度传感器, 以单片机为控制核心, 以 GPRS 为通信工具, 可以将路基温、湿度进行实时采集和显示。实现了对路基温、湿度的连续监测、自动

采集、存储和网上传输。该系统稳定、可靠、精度高、成本低廉, 为冻土路基温、湿度的实时采集及安全监测提供了技术手段, 具有较高的实用性。该系统也可为农业、环境等领域以及其它隐蔽工程的在线安全监测提供技术手段。

参 考 文 献:

- [1] 程培峰, 王蒙, 韩春鹏, 等. 季冻区路基温度湿度远程采集系统的研究[J]. 中外公路, 2014, 34(1): 49-52.
- [2] KONRAD J M, MORGENSTERN N R. A Mechanistic Theory of Ice Lens Formation in Fine-Grained Soils[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2011, 17(4): 473-486.
- [3] 何东坡, 任贵波, 韩春鹏, 等. DS18B20 在季冻土区公路路基温度场测量中的应用[J]. 电子技术应用, 2010(4): 48-50.
- [4] 毛雪松, 杨锦凤, 张正波, 等. 温度-湿度-荷载综合作用下路基冻融过程试验研究[J]. 冰川冻土, 2012(2): 427-434.
- [5] 韩春鹏, 何东坡, 程培峰, 等. 寒区公路路基温度场的自动监测与特性[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2011(3): 21-26.
- [6] 陈庆国, 李喜平, 李广军, 等. 基于 GPRS 的氧化锌避雷器状态监测系统[J]. 电机与控制学报, 2010(2): 99-102.
- [7] 顾简, 施云波, 修德斌, 等. 基于 GPRS 的环境温湿度监测系统的设计[J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2010, 27(6): 832-835+840.
- [8] 刘卓夫, 罗中明, 姜伟, 等. 人体-座椅接触面温湿度采集系统设计与实现[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2013(6): 24-28.
- [9] 牛广文. 基于 GPRS 通信的远程土壤墒情自动监测系统的设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2015(2): 36-37+40.
- [10] 罗毅, 施云波, 杨昆, 等. 用于探空仪的加热式湿度传感器及测量电路[J]. 光学精密工程, 2014(11): 3050-3060.
- [11] 江朝晖, 檀春节, 支孝勤, 等. 基于频域反射法的便携式土壤水分检测仪研制[J]. 传感器与微系统, 2013(1): 79-82.
- [12] 魏雄, 王仁波, 李跃忠, 等. 基于 GPS/GPRS 的滑坡监测系统[J]. 仪器仪表学报, 2008(11): 2456-2460.
- [13] 陈琦, 丁天怀, 李成, 等. 基于 GPRS/GSM 的低功耗无线远程测控终端设计[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2009, 49(2): 223-225+231.
- [14] 吴丽华, 李砾, 赵舒, 等. 基于 SIM300 的远程心电监护系统的设计与开发[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2010(1): 112-115.
- [15] 董静薇, 李会乐, 郭艳雯, 等. 基于 Zigbee 的粮仓温湿度监测系统的设计[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2014(2): 120-124.
- [16] 张开玉, 王晨光, 李东滨. 基于 GPRS 的油田电能质量监测系统的设计[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2012(2): 72-75.

(编辑: 温泽宇)