

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.02.028

# 基于北斗卫星通信的林区小气候监测系统研究

郑一力 赵燕东 刘卫平 刘圣波

(北京林业大学工学院, 北京 100083)

**摘要:** 为实现无手机信号林区生态系统参数的实时监测,基于北斗卫星短报文、物联网和云存储等技术,设计了一种林区小气候实时监测系统。该系统由小气候监测站、云服务器和系统软件构成,可实现林区大气、土壤、光照和植物等多参数的实时监测、云存储、动态查询、报表生成和大数据分析。系统对森林火险天气指标的计算进行平滑处理,加入了枯枝落叶层土壤湿度火险因子,实现了森林火险天气等级预报功能,为局部林区的防火预警服务。通过2017年3—5月在北京鹫峰国家森林公园的连续测试实验,3个小气候监测站可以稳定可靠地获取11种林区小气候数据,北斗卫星传输正确率分别为98.57%、99.43%和99.59%,达到了对林区小气候进行长期实时监测的目的,通信费用低于铱星卫星通信。该系统自2016年在北京、内蒙古、河北和河南等地推广应用,为林区的生态大数据获取和分析提供服务。

**关键词:** 北斗卫星; 林区小气候监测; 短报文通信; 森林火险预报; 云存储

**中图分类号:** S778      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2018)02-0217-08

## Forest Microclimate Monitoring System Based on Beidou Satellite

ZHENG Yili ZHAO Yandong LIU Weiping LIU Shengbo  
(School of Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to realize the real-time monitoring of ecosystem parameters in the forest with little mobile phone signal, a real-time forest microclimate monitoring system was designed based on Beidou satellite short message communication, Internet of things and cloud storage technologies. The system was composed of microclimate monitoring station, cloud server and software. The forest atmosphere, soil, sunlight and plant parameters can be real timely monitored. The system had functions such as cloud storage, dynamic query, report generation and data analysis. The calculation of forest fire weather index was smoothed and the factor of the litter layer soil humidity was supplemented to realize the forecast of the forest fire weather grade, which was used for the early warning of the local forest fire. Through the continuous experiments at Beijing Jiufeng national forest park from March to May 2017, three forest microclimate stations can obtain 11 kinds of microclimate data stably and reliably, and the success ratios of data transmission through Beidou satellite were 98.57%, 99.43% and 99.59%, respectively, successfully realizing long-term real-time monitoring. The communication fee using Beidou satellite short message communication was lower than that using Iridium SBD communication service. Since 2016, this system had been widely used for the forestry big data acquisition and analysis in Beijing, Inner Mongolia, Hebei and Henan provinces.

**Key words:** Beidou satellite; forest microclimate monitoring; short message communication; forest fire forecast; cloud storage

## 0 引言

林业生态系统参数的实时连续监测,能形成可

追溯的海量大数据信息源,可揭示林区各种生态因素的相互关系和内在变化规律,以支撑生态行动和预防生态灾害<sup>[1]</sup>。

收稿日期: 2017-11-16 修回日期: 2017-11-30

**基金项目:** 国家重点研发计划项目(2017YFD0600901)、中央高校基本科研业务费专项资金项目(2015ZCQ-GX-04)和北京市科技计划项目(Z161100000916012)

**作者简介:** 郑一力(1981—),男,副教授,主要从事林业生态监测和林业工程装备研究,E-mail: zhengyili@bjfu.edu.cn

**通信作者:** 赵燕东(1965—),女,教授,主要从事生态信息智能检测与控制研究,E-mail: yandongzh@bjfu.edu.cn

目前林区监测所需的大气、土壤、光照和植物等参数的获取方法可以分为3类:第1类为查询国家气象台网的气象数据,但林区地形、海拔、植被条件变化较多,林区独特的小气候环境与国家气象台网的数据有较大差异,无法使监测数据及时准确<sup>[2-4]</sup>。第2类为气象卫星或遥感卫星,用遥感的方式监测林区的气象数据或光谱数据<sup>[5-7]</sup>,这种方式适合对林业生态变化和灾害进行宏观大范围监测预警,无法获得微观精细数据。第3类是在林区建立定点生态监测站或移动式手持监测仪<sup>[8-11]</sup>,自动测量小气候数据,因测量精细度高、节省人力和可长期连续监测等优点而被广泛应用。在一些偏远和无手机信号的林区,这种方式存在数据无法有效实时传输的问题,成为林区监测实际应用中的瓶颈。

北斗卫星系统是我国自主研发的全球性卫星导航系统,可以在服务区域任何时间、地点,为用户确定地理经纬度和海拔高度,并提供双向短报文通信和精密授时服务,可有效解决我国偏远和无手机信号地区的数据通信难题<sup>[12-14]</sup>。

本文基于北斗卫星的短报文通信功能,设计一套林区小气候实时监测系统,实现林区小气候的大气、土壤、光照和植物等多参量实时监测、远距离传输和数据云存储。用户可通过互联网或移动通信网,实时查询数据变化和下载历史数据报表,为偏远无手机信号林区的小气候大数据获取和分析提供服务。

## 1 林区小气候监测系统设计

### 1.1 系统组成

系统由多个小气候监测站、云服务器和系统软件构成,如图1所示。

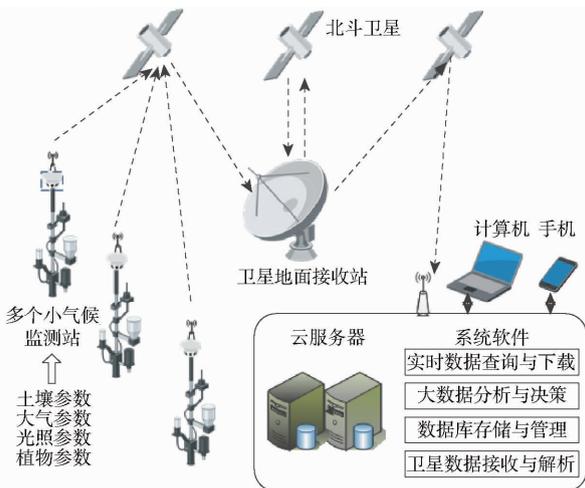


图1 林区小气候监测系统原理图

Fig.1 Schematic diagram of forest microclimate monitoring system

小气候监测站连接了大气、土壤、光照和植物参量传感器组,通过太阳能供电。小气候监测站与云服务器之间通过北斗短报文通信模块进行双向通信。系统软件运行在阿里云公司提供的云服务器上,具备实时数据查询与下载、大数据分析与管理、数据库存储和管理、卫星数据接收与解析等功能。多个小气候监测站组网形成对林区全方位监测,用户通过计算机或手机远程联网查询和下载林区小气候监测数据。

林区小气候监测站依据自身时钟,每间隔10 min自动采集连接的大气、土壤、光照和植物类传感器的数据,采集间隔可人工设置。数据经存储和格式变换后,形成72个字节的短报文通信包,通过北斗卫星通信模块将数据发送至北斗卫星。北斗卫星地面站接收卫星数据,再经北斗卫星发送给云服务器。

系统软件的卫星数据接收与解析功能可接收北斗短报文通信包,解析后将监测数据存入MySQL数据库中。实时数据查询与下载功能可实时访问数据库,通过互联网或移动通信网为计算机和手机用户提供远程数据访问、曲线查询和报表下载等服务。数据库存储和管理功能实现对MySQL数据库中数据的增添、删除、修改、更新和查找等操作。

系统软件的大数据分析与决策功能可根据获取的小气候监测数据,依据行业标准或大数据分析模型,确定林区火险天气等级,进行森林火情预测预警,也可以扩展完成生态环境恢复评价、精准灌溉决策和立木生长状态监测等分析决策功能。

### 1.2 系统硬件设计

林区小气候监测站的硬件由数据采集器、供电系统、传感器组、北斗卫星通信模块和机械塔架构成,如图2所示。

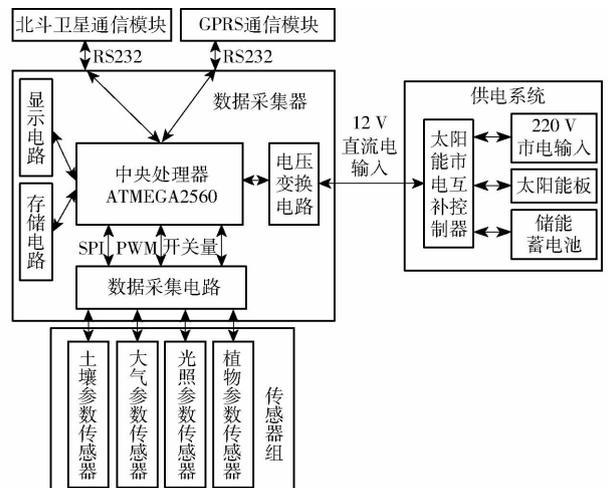


图2 系统硬件框图

Fig.2 Block diagram of system hardware

数据采集器是整个小气候监测站的数据处理和控制中心,由中央处理器、显示电路、存储电路、数据采集电路等构成。数据采集器可根据用户需求,采集各个传感器输出的模拟或数字信号,并通过北斗卫星完成数据传送。

数据采集器的中央处理器采用 ATMEGA2560 单片机,该单片机为 8 位内核,主频 16 MHz,具有可靠性高、功耗低、速度快、价位低等优点。中央处理器完成各个传感器原始数据的解析、数据通信格式转换、数据显示格式转换、数据存储格式转换、传感器工作状态监测、卫星通信状态监测和供电状态监测功能,通过看门狗电路实现运行错误的自动复位。数据显示电路采用彩色 LCD 触摸显示器,主要用于显示监测数据和状态数据。数据存储电路采用 8 GB 容量的 SD 存储卡,用于在本地存储监测数据,可人工定期进行数据拷贝和清除。数据采集电路将传感器组输出的 0~20 mA 模拟电流信号和 0~5 V 模拟电压信号统一转换为 0~2.5 V 模拟电压信号,经放大和滤波,与单片机的 AD 转换接口连接。单片机的 IO 口采集降雨量传感器输

出的开关量信号。单片机的 PWM 接口采集风速传感器的输出信号。

北斗卫星通信模块采用 GYT2015C 型北斗数据传输模块,如图 3 所示,该数据传输模块具备北斗短报文通信、北斗定位和授时功能,发射功率 10 W,通过 RS232 接口与中央处理器连接。北斗卫星通信模块安装在机械台架上,为小气候监测站提供北斗卫星通信链路。系统预留了 GPRS 通信模块接口,可在有手机信号的林区使用。



图 3 北斗数据传输模块

Fig. 3 Beidou data transmission module

传感器组可实时测量林区小气候的土壤、大气、光照和植物参数,主要传感器配置和性能如表 1 所示,用户可根据应用需求增减传感器。

表 1 林区小气候监测站传感器配置和性能

Tab. 1 Sensor configuration and performance of forest microclimate monitoring station

分组	传感器种类	范围	精度	分辨率
土壤参数	土壤温度(2~6层)	-55~80℃	±0.5℃	0.1℃
	土壤湿度(2~6层)	0~100%	±1%	±0.1%
大气参数	空气温度	-55~80℃	±0.5℃	0.1℃
	空气湿度	0~100%	±3%	±0.1%
	二氧化碳体积分数	$5 \times 10^{-3}$	$\pm 3 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-6}$
	风向	0°~360°	±3°	2.5°
	风速	0.3~60 m/s	±0.3 m/s	±0.1 m/s
光照参数	降雨量	0~4 mm/min(降雨强度)	±0.4 mm	0.1 mm
	总辐射	0~2 000 W/m <sup>2</sup>	重复率±2%	1 W/m <sup>2</sup>
	光照强度	0~200 000 lx	±5%	20 lx
	日照时数	120 W/m <sup>2</sup> (日照阈值)	±0.1 h	0.1 h
	光合有效辐射	0~4 000 μmol/(m <sup>2</sup> ·s)	±5%	1 μmol/(m <sup>2</sup> ·s)
植物参数	针式茎干含水率	0~100%	±1%	±0.1%
	无损茎干含水率	0~100%	±1%	±0.1%

供电系统由太阳能市电互补控制器、功率 75 W 多晶太阳能板和容量 12 V、65 A·h 的胶体储能蓄电池构成,为小气候监测站提供直流 12 V 电压。在有市电输入的林地可采用 220 V 供电。储能蓄电池放在防水地理箱中,安装在机械塔架下深 0.5 m 的土层中进行低温防护。

机械塔架采用不锈钢材料,由不锈钢钢丝绳进行防风固定,安装避雷针防护,底座采用混凝土重块固定。机械塔架上端安装大气参数传感器组、光照参数传感器组、北斗数据传输模块和太阳能板。为保证卫星通信质量,北斗数据传输模块的天线中轴偏南倾斜 5°~10°安装。机械塔架中部安装不锈钢防雨箱,内部安装数据采集器、太阳能控制器等部

件。土壤参数传感器组包括多个土壤湿度和温度传感器,可埋设在不同深度或位置的土壤中,测量森林土壤的温湿度。植物参数测量采用无损包裹式立木茎干含水率传感器和针式立木茎干含水率传感器,分别测量胸径 10 cm 以下和 10 cm 以上的立木茎干体积含水率,分析茎干内蓄水量变化。

图 4 为在北京鹫峰国家森林公园的燕儿岭(海拔 440 m)、望京塔(海拔 750 m)和萝芭地(海拔 1 000 m)安装的 3 套小气候监测站。此地区由于距离移动基站较远和飞机航线经过,无法实现稳定的手机 GPRS 通信。

### 1.3 系统软件设计

系统软件不间断运行在阿里云服务器上,基于



图4 北京鹫峰国家森林公园小气候监测站

Fig.4 Forest microclimate monitoring stations in Beijing Jiufeng National Forest Park

NET 技术进行整体框架搭建,分为前端表现层、业务逻辑层和数据访问层。图5为系统软件的整体架构。

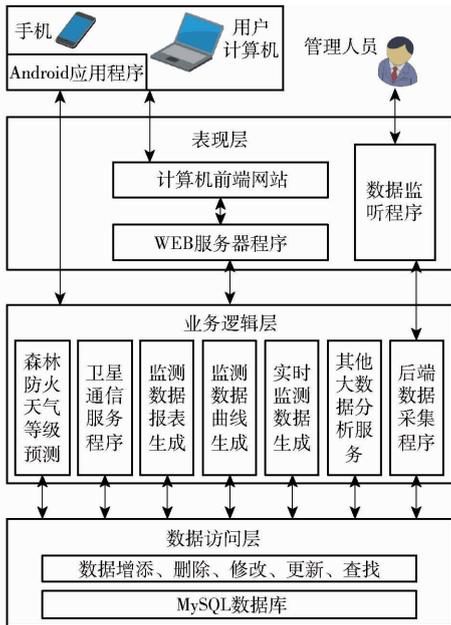


图5 系统软件框图

Fig.5 Block diagram of software

表现层负责系统与多并发用户交互;业务逻辑层完成监测数据接收、大数据分析和数据逻辑处理等核心业务,满足表现层和监测任务的需求;数据访问层直接操作数据库,完成对各个监测数据的增添、删除、修改、更新和查找等功能。

表现层的计算机前端网站使用 HTML、CSS 和 Javascript 脚本语言设计<sup>[15]</sup>,采用百度公司的可视化图表库 Echarts.JS 实现监测数据的图表、表盘以及动态部件<sup>[16]</sup>。数据监听程序运用 Winform 技术进行页面搭建,管理人员可监测传感器和北斗卫星通信的运行状态。WEB 服务器程序使用了 Microsoft 的 IIS,通过 HTTP(超文本传输协议)与用户计算机浏览器进行信息交流。

采用 Java 语言开发了手机端的 Android 应用程序,使用 HTTP 协议实现与云服务器的数据上传与

下载。采用 MPAndroidChart 开源框架实现林区小气候的实时数据、变化曲线和火险天气等级的查询与显示。

业务逻辑层的森林防火天气等级预测程序依据行业标准或大数据分析模型,确定林区火险天气等级。卫星通信服务程序通过北斗卫星短报文通信,接收小气候监测站所发送的监测数据以及工作状态数据。监测数据生成程序用于生成监测数据 Excel 格式的日报表、月报表和年报表。监测数据曲线程序用于生成小气候各个参数的日变化、月变化和年变化曲线。实时数据生成程序为计算机前端网站的仪表盘控件提供实时变化数据。大数据分析服务程序可扩展完成生态环境恢复评价、精准灌溉决策和立木生长状态监测等应用功能。后端数据采集程序与表现层的数据监听程序连接,完成数据采集器的参数设置、各个传感器数据解析、格式转换和错误与丢失数据自动处理功能。

数据访问层采用了开源代码的 MySQL 数据库,为平台所有数据提供存储空间,使用结构化查询语言 SQL 进行数据库管理。

系统软件使用 Load Runner 进行测试,可以承受 1 000 个用户的并发访问量,同时为后续的应用和用户扩展保留了接口,满足实时性、多并发和可扩展等要求。

图6~8为计算机端网站的截图,图6中以仪表盘的形式显示了林区小气候温度、湿度和降雨量等参数的实时数据。图7中以曲线的形式显示了林区一周的空气温度变化。图8中以报表的形式显示了林区小气候的各个监测数据,并可导出 Excel 格式的数据报表。



图6 林区小气候的实时监测数据

Fig.6 Real-time monitoring data of forest microclimate

## 2 森林火险天气等级预报实现

森林火险天气等级是森林火灾发生可能性和蔓延难易程度的一种重要度量指标和森林防火管理的重要依据<sup>[17]</sup>。借助国家气象局天气预报宏观数据的预报尺度粗略,无法针对不同海拔、植被和小气候



图 7 林区小气候的空气温度曲线

Fig. 7 Air temperature curve of forest microclimate

图 8 林区小气候的监测数据报表

Fig. 8 Monitoring data reports of forest microclimate

条件下的森林火险天气等级进行预测。林区小气候监测系统可对森林火险天气等级所需局部气象因子进行实时采集和计算,这对森林火险天气预报的改进和正确决策具有重要的作用。

根据林业部颁布的《全国森林火险天气等级》行业标准,森林火险天气等级的评定由森林防火期内每日最高空气温度  $A$ 、每日最小相对湿度  $B$ 、连续无降水日数  $C$ 、每日最大风力等级  $D$ 、物候订正指数  $E$  等 5 部分森林火险天气指数构成<sup>[17]</sup>。由气象监测参数可确定指数  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ ,由物候变化的经验值或监测值可确定指数  $E$ ,代入公式

$$n = A + B + C + D - E \quad (1)$$

使用此标准计算森林火险天气等级,根据阶梯区间打分,差异微小的气象数据会计算出差距较大的火险等级,同时订正指数  $E$  没有考虑林地土壤湿度条件。

本系统根据小气候监测站获取的实时数据计算森林火险天气指数,采用 Logistic 回归函数对火险天气指数的计算进行平滑处理<sup>[18-19]</sup>,并引入枯枝落叶层土壤湿度进行指数修正。

### 2.1 森林火险天气指数计算的平滑处理

参照行业标准,分别以  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  中各个阶梯区间打分的中值  $X_i$  ( $i = A, B, C, D$ ) 与对应的火险天气指数  $Y_i$  构成拟合样本集。

其中指数  $A$  的拟合样本集为

$$\{X_A, Y_A\} = \{(2.5, 0), (7.5, 4), (12.5, 8), (17.5, 12), (22.5, 16), (27.5, 20)\}$$

指数  $B$  的拟合样本集为

$$\{X_B, Y_B\} = \{(75\%, 0), (65\%, 4), (55\%, 8),$$

$(45\%, 12), (35\%, 16), (25\%, 20)\}$  指数  $C$  的拟合样本集为

$$\{X_C, Y_C\} = \{(0.3, 10), (0.9, 8), (2.0, 6), (3.5, 4), (5, 2), (7.5, 0)\}$$

指数  $D$  的拟合样本集为

$$\{X_D, Y_D\} = \{(0.1, 0), (0.9, 5), (2.5, 10), (6.7, 15), (9.4, 20), (12.3, 25), (15.5, 30), (19.0, 35), (20.7, 40)\}$$

选用 Logistic 函数

$$Y'_i = \frac{K_i}{1 + e^{\alpha_i + \beta_i X_i}} \quad (2)$$

对样本进行拟合,其中  $K_i$  由行业标准确定,分别为:  $K_i = \{20, 20, 10, 40\}$ 。 $\alpha_i$  和  $\beta_i$  为待求的拟合权值。由式(2)拟合获得指数  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  的计算函数分别为

$$Y'_A = \frac{20}{1 + e^{3.6421 - 0.2428X_A}} \quad (3)$$

$$Y'_B = \frac{20}{1 + e^{-6.0701 + 12.1403X_B}} \quad (4)$$

$$Y'_C = \begin{cases} \frac{10}{1 + e^{-2.5545 + 0.8685X_C}} + 5t & (X_C \leq 10) \\ 5(t - 1) & (X_C > 10) \end{cases} \quad (5)$$

$$Y'_D = \frac{40}{1 + e^{2.2844 - 0.2396X_D}} \quad (6)$$

式(5)中,  $t$  为连续有降雨的天数,  $Y'_C$  最大值为 50。式(3)~(6)对指数  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  拟合的决定系数  $R^2$  分别为 0.9771、0.9771、0.9691、0.9656。

### 2.2 森林火险天气等级计算

行业标准的物候订正指数  $E$  只考虑了草雪覆盖度,林区枯枝落叶层土壤包含了较多的可燃物,枯枝落叶层的土壤湿度对林火发生和蔓延具有重要影响<sup>[20]</sup>。

本系统中,物候订正指数  $E$  由  $Y'_{E1}$  (草雪覆盖度)和  $Y'_{E2}$  (枯枝落叶层土壤湿度指数)两部分相加构成。 $Y'_{E1}$  由统计经验值获取,在森林防火期内  $Y'_{E1}$  可简化提高到 15,核心防火期提高到 20,防火期外为 0。枯枝落叶层从上往下依次由未分解层、半分解层和腐殖质层构成,土壤湿度传感器可直接实时测量腐殖质层的体积含水率,确定  $Y'_{E2}$  的大小。

不同树种下枯枝落叶层土壤含水率差异较大,根据实验室的测试,栓皮栎腐殖质层的体积含水率在 4.2%~97.6% 之间,规定当腐殖质层的体积含水率在 30% 以上,  $Y'_{E2}$  设置为 -20,腐殖质层的体积含水率在 5% 以下,  $Y'_{E2}$  设置为 0。腐殖质层的体积含水率在 5%~30% 之间时,  $Y'_{E2}$  与腐殖质层的体积含水率呈线性关系,则采用线性拟合获得指数  $Y'_{E2}$  的

计算函数为

$$Y'_{E2} = \begin{cases} 0 & (X_{E2} < 5\%) \\ 4 - 80X_{E2} & (5\% \leq X_{E2} < 30\%) \\ -20 & (X_{E2} \geq 30\%) \end{cases} \quad (7)$$

根据小气候监测站获取的林区空气温度、空气湿度、降雨量、风力和 10 cm 深度的土壤湿度,依次代入式(3)~(7),求得  $Y'_i$ 。则修正后的森林火险天气等级指数为

$$H' = Y'_A + Y'_B + Y'_C + Y'_D + Y'_{E1} + Y'_{E2} \quad (8)$$

在本系统中,林区小气候下森林火险天气等级由式(8)确定,对应关系如表 2<sup>[17]</sup>所示。

表 2 森林火险天气等级表

Tab.2 Forest fire weather grade

森林火险天气等级	森林火险天气等级指数
一级	≤25
二级	26~50
三级	51~72
四级	73~90
五级	≥91

图 9 给出了计算机端网站上实时显示的林区小气候下的森林火险天气等级,以仪表盘的形式每隔 10 min 更新一次。



图 9 林区小气候下的局部森林火险天气等级

Fig.9 Local forest fire weather grade under forest microclimate

### 3 林区小气候监测系统测试与分析

#### 3.1 系统通信信号强度测试

课题组于 2016 年至 2017 年在北京鹫峰国家森林公园、张家口崇礼喜鹊岭、内蒙古和林格尔、河南鄢陵龙源花木有限公司和云南昆明金家山 5 处,对小气候监测站的北斗卫星通信信号强度进行测试。测试过程中,每条测试数据包含 75 个字节数据和 1 个字节的北斗信号强度数据(1~5 级),小气候监测站每隔 1 min 分 60 次通过北斗卫星将测试数据发送至云服务器,并将测试数据保存到本地 SD 卡中。

通过对比小气候监测站中 SD 卡保存数据与云服务器接收数据的一致性,达到验证系统数据通信可行性的目的,表 3 给出了在不同纬度地区北斗卫星通信的平均信号强度、数据正确收发条数和通信成功率。

表 3 北斗卫星林区信号强度测试与通信成功率统计

Tab.3 Signal strength test and success ratio of Beidou

satellite communication in forest

地点	纬度/ (°)	平均信号 强度/级	正确收发 条数	通信成功 率/%
北京鹫峰	40.06	3.5	60	100
河北崇礼	40.83	3.4	60	100
和林格尔	40.54	3.4	60	100
河南鄢陵	34.14	3.7	60	100
云南昆明	25.12	3.9	60	100

由表 3 可以看出,北斗卫星在内蒙古和林格尔以南的我国中低纬度地区具有较好通信质量,北斗卫星信号强度平均值在 3 级以上,测试数据通信成功率稳定在 100%。为防止数据丢失和错误问题,小气候监测系统设计了累加和校验与重发机制,通过对比小气候监测站本地与云服务器数据,如有数据通信错误和丢失,以应答的方式进行数据重发,保证数据通信可靠性。

#### 3.2 系统稳定性测试

为了验证系统运行稳定性,选取北京鹫峰国家森林公园布设的 3 个小气候监测站从 2017 年 3 月 1 日至 2017 年 5 月 31 日连续 92 d 的数据进行分析。该站点位于海拔 440 m 的燕儿岭森林防火检查站、海拔 750 m 的望京塔防火瞭望点和海拔 1 000 m 的萝芭地防火瞭望点,配置了大气类(空气温度、空气湿度、二氧化碳浓度、降雨量、风速、风向)、光照类(日照时数、总辐射、光照强度)和土壤类(2 层土壤湿度、2 层土壤温度)共 13 个 11 种传感器,对林区小气候进行组网监测,监测数据以帧为单位进行北斗数据传输,每帧长度为 72 个字节。

表 4 给出了林区小气候监测站数据通信效果,在 92 d 中 3 个小气候监测站采集了 13 247 帧林区小气候数据存储在 SD 卡中,云服务器中分别正确接收到燕儿岭、望京塔和萝芭地的小气候数据 13 058、13 172、13 194 帧,正确率为 98.57%、99.43% 和 99.59%,未出现连续超过 30 min 的数据丢失或错误。在海拔较高和较少山体遮挡的区域,数据传输正确率较高,满足林区小气候监测系统数据通信的要求。

表 4 林区小气候监测站数据通信效果

Tab.4 Communication result of forest microclimate station

地点	采集 数据/帧	正确传输 数据/帧	正确率/ %	最长连续数据错误或 丢失时间/min
燕儿岭	13 247	13 058	98.57	25
望京塔	13 247	13 172	99.43	18
萝芭地	13 247	13 194	99.59	16

### 3.3 森林火险天气等级预报功能分析

在云服务器上下载海拔 440 m 的燕儿岭森林防火检查站从 2017 年 3 月 1 日至 2017 年 5 月 31 日连续 92 d 的数据报表,其中与林区防火相关的风速、空气湿度、空气温度、10 cm 和 40 cm 深度土壤湿度、降雨量的变化曲线如图 10 ~ 14 所示。

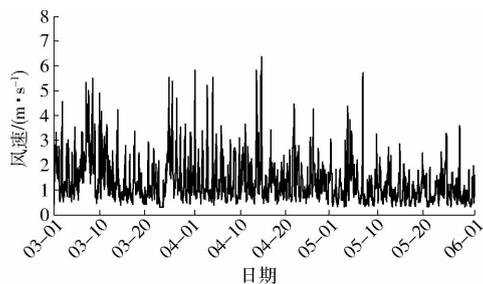


图 10 风速变化曲线

Fig. 10 Changing curve of wind speed

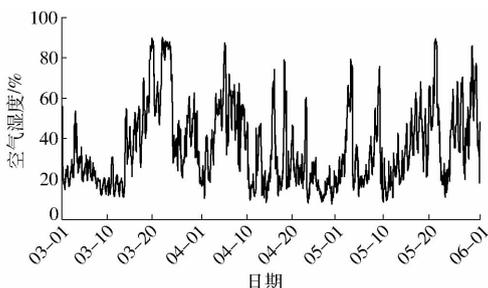


图 11 空气湿度变化曲线

Fig. 11 Changing curve of air humidity

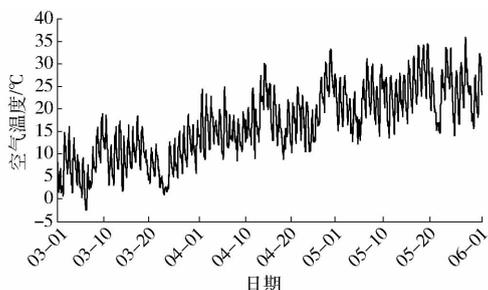


图 12 空气温度变化曲线

Fig. 12 Changing curve of air temperature

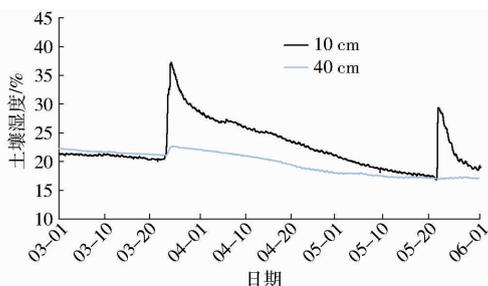


图 13 10 cm 和 40 cm 深度土壤湿度变化曲线

Fig. 13 Changing curves of soil water content in 10 cm and 40 cm depths

由图 14 可以看出,在 3 月 20 日、3 月 23 日和 3 月 24 日出现了连续降雨,图 13 中 10 cm 和 40 cm 深度土壤湿度滞后出现快速上升,森林防火指数下

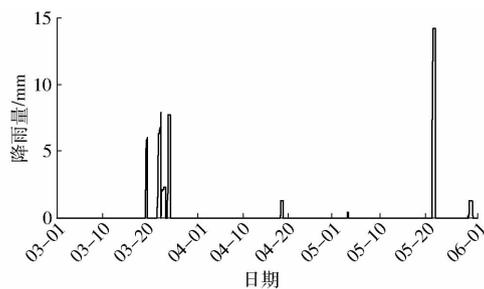


图 14 降雨量变化曲线

Fig. 14 Changing curve of rainfall

降,降雨停止后土壤湿度缓慢下降。当 5 月 22 日出现了短时中雨级别的降雨,10 cm 深度土壤湿度上升,防火指数下降,40 cm 处的土壤湿度,因传感器较深,受到 5 月 22 日短时降雨的影响较小,维持不变。在 4 月 19 日和 5 月 30 日,因为雨量较少,10 cm 和 40 cm 深度的土壤湿度均保持不变。

在北京地区,每年 11 月 1 日至次年 5 月 31 日为森林防火期。其中,每年 1 月 1 日至 4 月 15 日为森林高火险期,防火等级提升。由系统计算获得的 2017 年 3 月 1 日至 2017 年 5 月 31 日燕儿岭地区森林防火天气等级如图 15 所示。

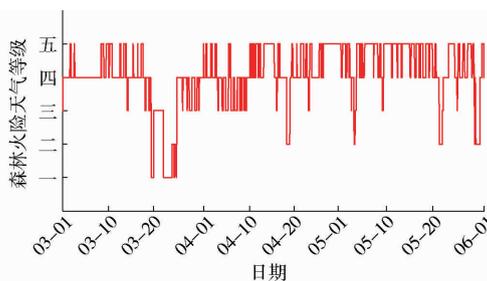


图 15 燕儿岭森林火险天气等级变化曲线

Fig. 15 Changing curve of forest fire weather grade in Yanerling

对比图 15 中燕儿岭的森林火险天气等级与图 14 降雨量变化可知,在整个防火期,森林火险天气等级在无降雨时处于四级和五级,林火燃烧和蔓延的危险程度较高。在 4 月 19 日、5 月 22 日和 5 月 30 日发生短时降雨时,森林火险天气等级下降为二级。在 3 月 20 日、3 月 23 日和 3 月 24 日连续降雨时,森林火险天气等级下降为一级和二级,林火燃烧和蔓延的危险程度较低,对该区域的森林火险天气等级进行了有效预报。

### 3.4 运行费用分析

林区小气候监测站每隔 10 min 传输 72 个字节的短报文通信包,每月平均传输不少于 311 040 字节的数据。本系统选用了北斗三级民用短报文通信卡,1 800 元可终身长期使用,每分钟最多传输 76 个字节数据。系统通信费用低于铱星公司每月高于 3 000 元的 SBD 通信业务,同时也保证了无 GPRS 手

机信号林区的数据通信。

#### 4 结束语

设计了一种基于北斗卫星短报文通信的林区小气候监测系统,实现了大气、土壤、光照和植物等参数的实时监测、云存储、动态查询、报表生成和大数据分析等功能。系统采用 Logistic 回归函数,解决了森林火险天气指数区间量化打分的阶跃问题,并补

充引入枯枝落叶层土壤湿度因子,实现了精细化森林火险天气等级预报功能。系统在北京鹫峰国家森林公园连续3个月的测试实验中,稳定可靠地获取林区11种小气候数据,传输正确率在98.57%以上。系统已在北京、内蒙古、河北和河南等地推广应用,可为偏远、无手机信号地区的农林业生态大数据监测、生态恢复评价、气象灾害监测和精准灌溉等服务。

#### 参 考 文 献

- 李世东, 邹亚萍, 李明国. 中国林业大数据发展战略研究报告[M]. 北京: 中国林业出版社, 2016.
- 赵凤君, 舒立福. 林火气象与预测预警[M]. 北京: 中国林业出版社, 2014.
- 郭海峰, 禹伟. 湖南省森林火险天气等级预测模型研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(12):44-47.  
GUO Haifeng, YU Wei. Study weather grade prediction model of forest-fire risk in Hunan Province [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2016, 36(12):44-47. (in Chinese)
- 邓刚. 气象因子的变化对黑龙江省森林病虫害影响的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012.  
DENG Gang. Effect of meteorological factors on forest diseases and insect pests in Heilongjiang Province [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2012. (in Chinese)
- 孙家柄. 遥感原理与应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2013.
- 覃先林, 朱曦, 杨飞, 等. 天宫一号高光谱数据探测火情状态敏感谱段分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(7):1908-1911.  
QIN Xianlin, ZHU Xi, YANG Fei, et al. Analysis of sensitive spectral bands for burning status detection using hyper-spectral images of tiangong-01 [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2013, 33(7):1908-1911. (in Chinese)
- BAGHDAD N, ZRIBI M. Land surface remote sensing in agriculture and forest [M]. London: ISTE Press-Elsevier, 2016.
- 丁访军. 森林生态系统定位研究标准体系构建[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2011.  
DING Fangjun. Construction of standard system for localization of forest ecosystem [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2011. (in Chinese)
- 刘卫平, 高志涛, 刘圣波, 等. 基于铱星通信技术的土壤墒情远程监测网络研究[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(11):316-322. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20151143&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20151143&flag=1). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.11.043.  
LIU Weiping, GAO Zhitao, LIU Shengbo, et al. Remote monitoring network for soil moisture based on Iridium communication technology [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(11):316-322. (in Chinese)
- 赵燕东, 黄欢, 颜小飞, 等. 基于铱星通信技术的地面森林管护系统研究[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(1):324-330. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20160144&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160144&flag=1). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.01.044.  
ZHAO Yandong, HUANG Huan, YAN Xiaofei, et al. Design of forest management and protection system based on Iridium communication technology [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1):324-330. (in Chinese)
- United States Department of Agriculture. Smart Forests for the 21st Century[EB/OL]. <https://smartforests.org/>.
- 国务院新闻办公室. 中国北斗卫星导航系统[M]. 北京: 人民出版社, 2016.
- 隋铭明, 沈飞, 徐爱国, 等. 基于北斗卫星导航的秸秆机械化还田作业管理系统[J/OL]. 农业机械学报, 2016, 47(1):23-28. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?flag=1&file\\_no=20160104&journal\\_id=jcsam](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160104&journal_id=jcsam). DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.01.004.  
SUI Mingming, SHEN Fei, XU Aiguo, et al. Management system for mechanized straw returning based on BDS [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1):23-28. (in Chinese)
- 陈海生, 郭晓云, 王峰, 等. 基于北斗短报文的渔获信息压缩传输方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(22):155-160.  
CHEN Haisheng, GUO Xiaoyun, WANG Feng, et al. Fishery harvesting information compressing and transmitting method based on Beidou short message [J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(22):155-160. (in Chinese)
- 聂常红. Web 前端开发技术:HTML、CSS、JavaScript[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2016.
- 刘茜. 林分环境因子监测数据管理系统研建[D]. 北京: 北京林业大学, 2016.  
LIU Xi. Establishment of forest environment factor monitoring data management system [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016. (in Chinese)
- 国家林业局. LY/T 1172—95 全国森林火险天气等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- 张伟, 王峰, 郭艳芬, 等. 基于 Logistic 回归的森林火险天气等级模型[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(12):121-122.  
ZHANG Wei, WANG Feng, GUO Yanfen, et al. Weather model level of forest fire danger based on logistic regression [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2013, 41(12):121-122. (in Chinese)
- 赵璠, 周汝良, 王艳霞, 等. 连续化森林火险天气等级预报模型的研究与实现[J]. 林业机械与木工设备, 2015(2):37-40.  
ZHAO Fan, ZHOU Ruliang, WANG Yanxia, et al. Research and implementation of continuous forest fire danger weather rating forecast model [J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2015(2):37-40. (in Chinese)
- 秦富仓. 林火原理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.