

基于铱星通信技术的森林管护系统研究

赵燕东^{1,2} 黄欢^{1,2} 颜小飞^{1,2} 于文华^{1,2}

(1. 北京林业大学工学院, 北京 100083;

2. 北京林业大学城乡生态环境北京实验室, 北京 100083)

摘要: 采用铱星 SBD 卫星通信业务, 基于支持向量机算法, 设计了一套专门服务于林业部门的信息采集、数据分析及林火识别的森林管护系统, 实现了 CO 浓度、CO₂ 浓度、烟雾浓度、空气温湿度的自动采集与林区无死角实时远距离无线传输, 在 10 m 范围内可有效识别森林火灾发生的可能性。采集终端硬件基于 STM32 处理器、铱星 Q9602 模块、LTC2950-1 开关机控制、DS2781 电源管理以及两级降压结构, 软件在自动模式及手动模式下均可实现数据的实时采集与远程传输, 并在远程服务器上进行分析与林火发生可能性识别。经实验验证: 系统可实时采集 5 种微环境参数, 卫星传输成功率为 100%, 10 m 范围内林火正确识别率为 80% 左右。2014 年开始, 系统在内蒙古自治区呼伦贝尔市海拉尔区林区的森林管护工作中得到应用测试。

关键词: 森林管护; 铱星通信; Q9602 模块; 支持向量机; 林火识别

中图分类号: TP274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)01-0324-07

Design of Forest Management and Protection System Based on Iridium Communication Technology

Zhao Yandong^{1,2} Huang Huan^{1,2} Yan Xiaofei^{1,2} Yu Wenhua^{1,2}

(1. School of Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2. Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: With the analysis of domestic and abroad present situation of forest protection and fire monitoring, based on the Iridium SBD communication services and support vector machine algorithm, an information collecting and data analyzing system for forest management and protection was designed, which was able to collect concentration of carbon monoxide, carbon dioxide, smoke air temperature and air humidity automatically, transfer the wireless remotely in anywhere of forest, and recognize forest fire probability effectively in a certain range. The hardware of monitoring terminal consisted of STM32 CPU, Iridium Q9602 module, LTC2950-1, DS2781 and two-stage power voltage step down system. The software made the terminal be able to collect and transfer on automatic mode or manual mode, analyze data and recognize fire probability on the remote server. It was proved by experiment that the system could collect five micro-environment parameters, transfer data by using Iridium with the success rate of 100% and recognize fire probability above the rate of 80%. The system had been applied and tested in the forest fire work of Hailar District, Hulunbeier, Inner Mongolia Province. It can improve the monitoring mechanism of the patrol personnel and the efficiency of forest resources survey.

Key words: forest management and protection; Iridium communication; Q9602 module; support vector machine; forest fire recognition

收稿日期: 2015-05-27 修回日期: 2015-06-30

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(BLX2013009)、北京市教委共建项目和北京市共建项目

作者简介: 赵燕东(1965—),女,教授,博士生导师,主要从事生态信息检测与智能控制研究,E-mail: yandongzh@bjfu.edu.cn

通信作者: 于文华(1956—),男,教授,主要从事森林防火研究,E-mail: yuwenhua56@sina.com

引言

森林管护采集系统是服务于林业部门的特种行业系统,专门应用于林业部门的信息采集和数据处理。目前,国内外在森林管护与防火工作中,均已使用了卫星监测、飞机巡护、瞭望台监测和地面人员巡护的立体监测手段^[1-2]。在瞭望台监测与地面人员巡护等近地面的监测方式中,地面森林管护采集系统是林业相关部门常采用的一种实时了解各地森林情况的方法。地面森林管护系统对森林的保护起到了显著作用。由于林区环境的特殊性,根据通信技术的不同,目前主要的地面森林管护采集系统有:基于射频识别技术(RFID)的森林管护系统,它能实现无接触信息的传递并能够对所传递的信息进行识别,具有读取方便快捷、识别速度快等优点^[3-4],但是其通信距离非常有限,一般不超过 5 m,而且,RFID 标签对环境的影响较大,尤其是它产生的电磁辐射,会对空气、水、植物、动物造成一定的影响,同时,标签极易被人为损毁,使用不便。基于 GSM 传输采集系统,该系统具有模拟移动通信系统无法比拟的抗干扰能力,通信质量高,状态稳定。但其编码速度仅为 13 kb/s,编码质量不高,并且 GSM 系统在一些林区、山区等区域,信号差,无法正常工作。在 GSM 系统的基础上又出现了 GPRS 通信采集系统,GPRS 是 GSM 的延续。GPRS 和以往连续在频道传输的方式不同,是以封包时来传输的,因此 GPRS 的传输速率比传统的 GSM 要快得多,并且实时性更好^[5-7]。但是在广大偏僻林区,信号差,无法正常工作。随着卫星通信技术的发展,越来越多的森林管护系统采用卫星通信来实现林区无死角信息传输。

考虑到卫星通信技术的可靠性及成本问题,本文提出一种基于铱星通信技术的森林管护系统。铱星通信技术能较好地满足林区信息传输的实时性要求。铱星通信链路为不依赖地面基站的星星传输:铱星特有的星际传播,具有通信速度快、通信质量高、通信范围广、成本相对其他卫星通信方式低等优点^[8-10]。森林管护采集系统将现场采集到的林区环境参数、植物生理及图像信息通过铱星链路进行传输,可达到野外信息实时回传、突发事件及时反馈的目的。

1 森林管护采集系统设计

1.1 系统组成

系统由配备传感器组的森林管护采集器、扩展的安卓手机用户端、铱星通信系统、远程决策服务器构成,如图 1 所示。

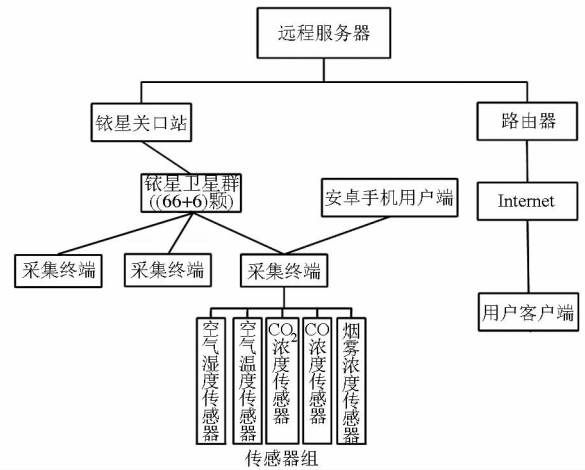


图 1 森林管护采集系统架构框图

Fig. 1 Framework of monitoring system for forest management and protection

采集终端内配备传感器组,可采集空气湿度、空气温度、CO₂浓度、CO浓度以及烟雾浓度信息。护林员携带采集终端,在森林管护过程中采集环境参数与地理位置信息,支持手动采集植物、环境信息拍照功能及手动输入盗砍盗伐、病虫害等林区不正常状况信息,并自动记录相应地理位置。扩展的安卓手机用户端在需要时亦可作为采集器的显示与输入平台。数据采集并存储后,通过铱星通信传送至远程服务器。远程服务器将数据存储在数据库中,并处理与分析数据作出相应的判断与识别,再将数据及分析结果显示在互联网 Web 上,同时可生成决策报告及各类统计管理报表,通过权限验证即可访问。

1.2 采集终端硬件设计

如图 2 所示,采集器的控制系统主要由中央控制电路、传感器组、铱星通信部分、GPS 全球定位模块、蓝牙模块、Flash 与 SD 卡存储部分、开关机控制部分、电源供电部分、电源管理部分、按键输入、声光指示以及调试串口部分组成。

中央控制器选用 ST 公司的高性能、低成本、低功耗的 STM32F103ZE 型微处理器,中央处理器作为主要功能单元,可向系统的各个部分发出各种命令,

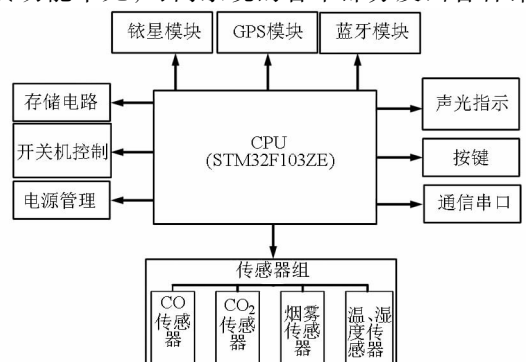


图 2 采集终端硬件结构框图

Fig. 2 Block diagram of hardware of monitoring terminal

同时对被测参数进行巡回检测、数据处理、控制计算以及逻辑判断等功能。

开关机控制部分采用 Linear Technology 公司的 LTC2950-1 型芯片,该芯片仅有 $6\ \mu\text{A}$ 、 $2.7\sim 26.4\ \text{V}$ 的消耗,可实现单键长按开/关机(长按响应时间可调),并具有电池低电压关断保护功能、CPU 自主关机功能以及电源关断前通知 CPU 处理关机事务的功能。

电源供电部分包括 $5\ 000\ \text{mA}\cdot\text{h}$ 、 $7.4\ \text{V}$ 锂电池,可配合 LTC2950-1 型芯片使用、具有使能端的 TI 公司 LP38693MP-5.0 型芯片与 LM1117-3V3 型芯片两级降压结构。

电源管理部分由 Dallas Semiconductor 公司的 DS2781 型芯片控制,具有检测电池剩余电量、当前电压以及统计消耗电流功能。

铱星通信部分采用铱星公司的 Q9602 模块作为无线数据传输的通信模块。Q9602 模块是单板核心收发器模块,通过卫星信道收发数据包。Q9602 模块具有体积小、质量轻、功耗低等优点,它通过 RS232 接口,结合相应的 AT 指令协议完成 SBD 业务。除天线接口以外,所有设备连接都是通过一个多针接口,Q9602 模块接口到用户连接器包括 DC5V 电源输入、RS232 串行数据接口、供电电压指示、网络输出与电源开/关控制线。Q9602 模块主要的射频连接器是天线连接器,天线连接器提供了 Q9602 模块和主机系统主板之间的射频连接,出于安全原因,Q9602 模块上的 2 个射频连接器,用于跨板连接到主机系统的主板,而不能被直接连接到一个外部天线电缆或电缆分配系统^[11-12]。Q9602 模块最大移动发送信息有 340 个字节,最大移动接收信息有 270 个字节。通过 Q9602 模块实现的 SBD 业务是一种简单高效的网络传输功能,在地面终端设备和用户应用平台之间传输短数据信息。每一个 Q9602 模块具有唯一的 ID,因此 Q9602 模块不需要用户身份模块插入到收发器,使用模块之前只要使用 ID 号进行注册即可。

传感器负责采集环境参数,其中 CO 浓度测量采用日本 NEMOTO 公司微型 EC805-CO 型传感器,测量范围 $0\sim 1\ 000\ \text{mg/L}$,精度 $\pm 20\ \text{mg/L}$ 。CO₂ 浓度测量采用韩国 ELT 公司的微型红外 S-100 型传感器,测量范围 $0\sim 5\ 000\ \text{mg/kg}$,精度 $\pm 30\ \text{mg/kg}$ 。烟雾浓度测量采用韩国 OGAM 公司的微型 MS5100 型传感器,输出电压 $0.5\sim 5\ \text{V}$,与烟雾浓度呈近似线性关系,由于火灾烟雾是由气体、液体、固体微粒群组成的混合物,很难定量表征其浓度,故本文中直接用传感器输出的电压表征烟雾浓度。空气温度与

空气湿度测量采用瑞士 SENSIRION 公司的 SHT11 型温湿度一体传感器,温度测量范围 $-40\sim 123\ ^\circ\text{C}$,测量误差 $\pm 0.4\ ^\circ\text{C}$,相对湿度测量范围 $0\sim 100\%$,测量误差 $\pm 3\%$ 。

此外,蓝牙模块用于与外扩安卓手机客户端进行通信,作为外部的显示与输入平台。

1.3 采集终端软件设计

采集终端的软件设计基于准确、高效以及易学易用的原则,主程序的软件流程图如图 3 所示。

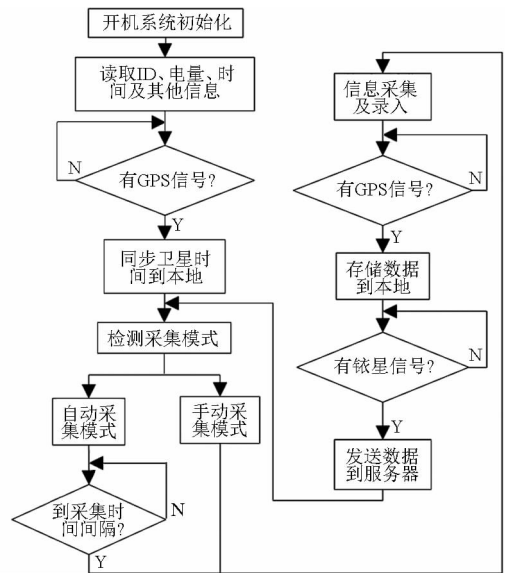


图3 采集终端软件流程图

Fig. 3 Flowchart of software of monitoring terminal

系统开机后先进行硬件初始化,读取设备 ID、电池电量、本地时间等信息,其次检测 GPS 信号,获得 GPS 信息后将其中卫星时间同步到本地,然后再选择采样模式。自动模式下系统间隔提前设定好时间进行信息采集,手动模式下直接进入信息采集,并支持手动输入信息,信息采集完成后读取 GPS 定位信息,并打包存储,最后检查铱星卫星信号,发送数据。为方便软件设计过程中铱星通信部分的编写,将铱星通信所使用的 AT 指令封装为具有透传特性的通信协议,其实现函数的流程图如图 4 所示。通信过程中,经后文实验测试,为保证通信成功率,只在信号强度大于 3 时进行数据发送。

1.4 数据分析软件设计

采集终端数据传输至远程服务器端后,服务器将会通过支持向量机算法对数据进行融合与分析,识别存在火灾的可能性。

支持向量机^[13-14](Support vector machine, SVM)是基于统计学习理论的一种通用学习方法,专门研究小样本情况下机器学习规律的理论,为解决有限样本的学习问题提供了一个统一的框架,在网

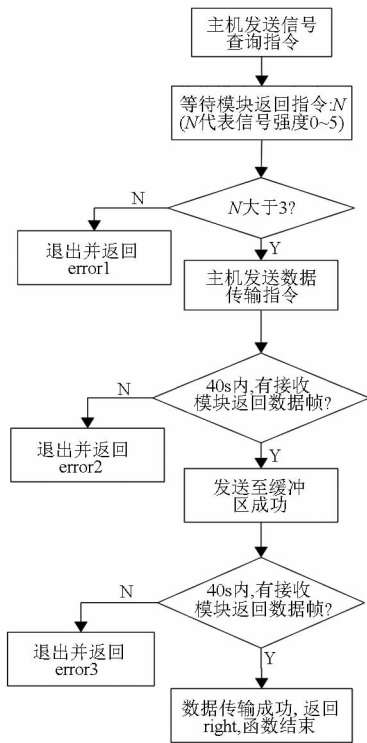


图 4 铱星模块透传协议流程图

Fig. 4 Flowchart of transparent transport protocol of Iridium module

络结构选择、过学习、局部极小点等问题表现出很多优于已有方法的性能^[15-16]。

软件通过 Matlab 进行设计,其开发流程如图 5 所示。

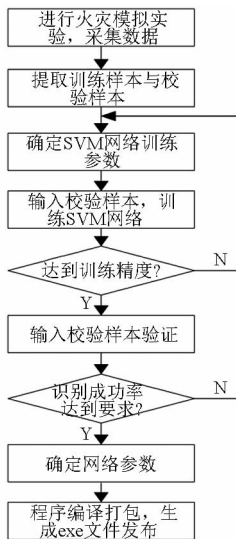


图 5 数据分析软件开发流程图

Fig. 5 Flowchart of developing data analysis software

采用 Matlab 中 SVM 函数 svmtrain 进行训练、svmclassify 进行验证。通过训练及效果对比,最终确定 SVM 网络结构参数如下:核函数为径向基函数 (RBF),寻找超平面方法为二次规划 (QP)^[17],惩罚参数为 2.7。并在校验样本中达到了 80% 以上的识别成功率。

SVM 算法分析程序在 Matlab 中设计完成后,使用 Matlab 的 mcc 命令进行编译与打包,生成 .exe 格式的可执行文件进行发布。可执行文件执行时即可自动从数据库中读出新数据,并输出发生火灾的可能性。

2 实验与数据分析

2.1 实验设计

实验在北京林业大学实验林场中多个实验点进行,将生物质能源燃料块放置于底部通风、直径为 40 cm、高为 60 cm 的铁桶内并点燃,使用采集终端在 2 ~ 10 m 不同的距离进行数据采集。

实验使用北京林业大学工学院研发的生物质成型燃料的燃烧来模拟早期森林火灾。该生物质成型燃料的生产原料为各类森林衍生物,例如木材采伐与加工剩余物、林木枝丫、树皮、灌木以及植物秸秆等。燃烧产物除 CO₂ (充分燃烧)、CO (不充分燃烧) 和水外,还生成 SO₂ (低于 100 mg/m³)、粉尘 (低于 200 mg/m³)、燃烧灰烬 (主要由钙、钾、镁、钠、锰、铁、磷、硫等无机成分组成)。燃烧热值为 16 743.4 J/kg 左右^[18-19]。

2.2 数据采集与通信可靠性分析

通过比对采集终端保存数据与远程服务器接收数据的一致性,达到验证系统数据采集与通信可靠性的目的,课题组于 2014 年 8、11、12 月多次在北京妙峰山进行系统测试,此地区树木茂密程度适中,没有 GPRS 信号。测试过程中,采集终端每隔 10 min 将采集到的信息 (CO 浓度、CO₂ 浓度、烟雾浓度、空气温、湿度及地理位置) 保存到采集终端的 SD 卡中,同时,通过铱星将信息发送至远程服务器,发送时的铱星信号强度一并记录在采集终端。

测试结束后,首先统计采集终端数据,以 2014 年 8 月测试为例,共采集与传输数据 126 条,其中在不同铱星信号强度下 (1 ~ 5) 的信息传输分别为 5、16、25、37、43 条;其次,对比终端发送数据与服务器端接收的数据,若数据相同则认为通信成功,统计得到通信成功的条数对应为 0、2、24、37、43,进而可求得通信成功率,如表 1 所示。

表 1 信号强度与通信成功率统计

Tab. 1 Signal strength and success ratio

信号强度	1	2	3	4	5
发送条数	5	16	25	37	43
接收条数	0	2	24	37	43
通信成功率/%	0	12.5	96.0	100	100

如表 1 所示,铱星信号强度在 3 ~ 5 之间时,通

信成功率达 96% ~ 100%, 通信可靠性高。测试过程中, 在 $(25 + 37 + 43) / 126 \times 100\% = 83.3\%$ 的情况下, 铱星信号强度均在 3 ~ 5 之间, 满足林区信息传输的要求。

2.3 林火识别评价参数定义

定义林火识别的 3 个表征参数: 有火成功识别率 S 、无火误识别率 W 、非明确识别率 U 。

有火成功识别率 S 表征对实际已发生林火进行准确识别(输出值大于 90%, 代表林火高发报警)的概率。定义为

$$S = \frac{n_1}{N_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中 N_1 ——真实火灾状态为 1 的数据条数

n_1 ——在真实火灾状态为 1 时, 识别输出值大于 90% 的数据条数

无火误识别率 W 表征对实际未发生林火却误识别为火灾(输出值大于 90%)的概率。定义为

$$W = \frac{n_0}{N_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中 N_0 ——真实火灾状态为 0 的数据条数

n_0 ——在真实火灾状态为 0 时, 识别输出值大于 90% 的数据条数

非明确识别率 U 表征根据测得数据输出林火可能性值在 10% ~ 90% 之间的概率。定义为

$$U = \frac{n_u}{N_{\text{all}}} \times 100\% \quad (3)$$

式中 N_{all} ——总数据条数

n_u ——识别输出值在 10% ~ 90% 之间的数据条数

2.4 数据分析

2.4.1 数据预处理

从服务器数据库中读取文本格式的原始数据, 导入 Matlab, 进行预处理。将数据整理为向量格式(行列形式), 每一行即为一条数据, 列为各传感器值。然后根据实验记录的燃烧时间与熄灭时间, 将有火时的数据与无火时的数据加以区分, 并加入火灾状态列, 有火为 1, 无火为 0, 预处理后, 构成一个 6 列的向量数组, 第 1 ~ 6 列数值分别为 CO 浓度、CO₂ 浓度、烟雾浓度、温度、湿度和火灾状态。

数据样本分为训练样本和检验样本。训练样本为 316 条数据(3 次实验), 检验样本为 844 条数据(6 次实验), 其中采集距离为 2、5、10、15 m 的数据条数分别为 323、93、255、173。使用 Matlab 提供的 mapminmax 函数对训练数据与检验数据进行归一化。输入向量个数分别选择 3 个(CO 浓度、CO₂ 浓度、烟雾浓度)与 9 个(2 min 前、1 min 前和当前的

CO 浓度、CO₂ 浓度、烟雾浓度)两组作为对比。输出向量即为林火可能性 0 ~ 100%。

2.4.2 识别算法

2.4.2.1 3 个输入向量 SVM 识别算法

当选择 3 个输入向量(CO 浓度、CO₂ 浓度、烟雾浓度)时, 首先, 使用 svmtrain 函数创建 SVM 网络, 经多次尝试与调整后, 最终确定的结构参数为: 核函数选用径向基函数(RBF), 指定寻找超平面方法为二次规划(QP), 惩罚参数 C 为 2.7。然后, 使用 svmclassify 来完成检验样本的识别输出, 其目标识别结果统计如表 2 所示。

表 2 3 个输入向量时支持向量机识别结果

Tab. 2 Identification results of SVM with three input vectors

实验距离/m	有火成功 识别率/%	无火误 识别率/%	非明确 识别率/%
2	90.76	1.18	0
5	77.61	0	0
10	73.68	0	0

从表 2 中可看出, 当巡检仪与着火点距离 10 m 以内时, 有火成功识别率为 73.68% ~ 90.76%, 无火误识别率为 0 ~ 1.18%, 非明确识别率为 0, 火灾识别效果较好。

2.4.2.2 9 个输入向量 SVM 识别算法

当选择 9 个输入向量时, 在调整惩罚参数 C 的过程中发现, 采用最小二乘法(LS)方法寻找最优超平面可以得到更好的识别效果^[20-21]。故多次调整后最终确定结构参数为: 核函数选用径向基函数(RBF), 指定寻找超平面方法为二次规划(LS), 惩罚参数为 40。

使用 svmclassify 来完成检验样本的识别输出, 9 个输入向量 SVM 网络目标识别结果统计如表 3 所示。

表 3 9 个输入向量时支持向量机识别结果

Tab. 3 Identification results of SVM with nine input vectors

实验距离/m	有火成功 识别率/%	无火误 识别率/%	非明确 识别率/%
2	91.18	3.53	0
5	88.08	0	0
10	77.19	0	0

从表 3 中可以看出, 当巡检仪与燃料块之间的距离在 10 m 以内时, 有火成功识别率为 77.19% ~ 91.18%, 无火误识别率为 0 ~ 3.53%, 非明确识别率为 0, 识别效果优于 3 个输入向量 SVM 识别算法, 因此, 在实际系统分析过程中采用的是 9 个输入向

量 SVM 识别算法。

2.5 呼伦贝尔应用测试

2014 年 12 月开始,本系统已于呼伦贝尔市林业局的森林管护与防火工作中进行测试,林区管护人员携带便携式、配备传感器组的森林管护采集器进行林区巡检,采集器自动获取一组信息(每组数据包括采集时间、经纬度、CO 浓度、CO₂ 浓度、烟雾浓度、空气温度、空气湿度),图 6 为 2014 年 12 月 8 日系统实际使用的采集结果,采集地点为呼伦贝尔市海拉尔国家森林公园,共采集 29 组可靠数据,通过铱星系统上传至远程决策服务器,采用 9 个输

出向量支持向量机方法进行火灾发生识别分析,具体结果见表 4。

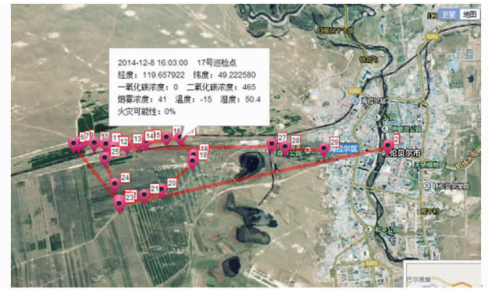


图 6 应用中 Web 数据展示截图

Fig. 6 Web data display in application

表 4 巡检状况表

Tab. 4 Inspection sheet

时间	巡检点纬度 /(°)	巡检点经度 /(°)	CO 质量比/ (mg·kg ⁻¹)	CO ₂ 质量比/ (mg·kg ⁻¹)	烟雾质量比/ (mg·kg ⁻¹)	空气温度/ ℃	空气湿度/ (g·m ⁻³)	林火 识别结果
2014-12-08 14:58	49.200 131	119.626 257	0	97	41	-17	0	无火
2014-12-08 15:01	49.200 856	119.626 043	0	45	41	-7	24	无火
2014-12-08 15:02	49.201 221	119.625 946	0	40	41	-6	0	无火
2014-12-08 15:44	49.220 514	119.602 599	0	39	26	-11	0	无火
2014-12-08 15:46	49.220 951	119.605 101	0	36	16	-10	0	无火
2014-12-08 15:47	49.220 993	119.605 144	0	37	16	-10	99	无火
2014-12-08 15:49	49.221 340	119.607 529	0	82	30	-14	99	无火
2014-12-08 15:50	49.220 700	119.613 122	0	98	34	-18	99	无火
2014-12-08 15:51	49.220 414	119.619 323	0	105	37	-20	0	无火
2014-12-08 15:53	49.219 070	119.622 868	0	106	36	-23	0	无火
2014-12-08 15:56	49.220 003	119.630 174	0	99	40	-26	0	无火
2014-12-08 15:57	49.220 869	119.636 636	0	99	40	-26	3	无火
2014-12-08 16:00	49.221 369	119.640 023	0	78	40	-24	4	无火
2014-12-08 16:01	49.222 635	119.650 486	0	92	40	-24	5	无火
2014-12-08 16:03	49.222 580	119.657 922	0	69	35	-17	7	无火
2014-12-08 16:09	49.216 493	119.664 665	0	81	41	-21	0	无火
2014-12-08 16:10	49.214 508	119.664 089	0	88	41	-22	0	无火
2014-12-08 16:15	49.204 885	119.648 103	0	78	41	-15	0	无火
2014-12-08 16:16	49.203 100	119.639 242	0	96	41	-17	8	无火
2014-12-08 16:18	49.200 871	119.627 583	0	82	41	-15	8	无火
2014-12-08 16:19	49.199 958	119.626 284	0	84	41	-17	8	无火
2014-12-08 16:22	49.206 784	119.623 882	0	71	41	-17	9	无火
2014-12-08 16:24	49.215 602	119.618 666	0	71	41	-17	0	无火
2014-12-08 16:28	49.219 146	119.623 05	0	73	41	-16	0	无火
2014-12-08 16:38	49.220 331	119.705 291	0	69	41	-15	0	无火
2014-12-08 16:39	49.219 326	119.712 003	0	65	41	-15	0	无火
2014-12-08 16:41	49.218 908	119.732 369	0	67	41	-14	0	无火

2014 年 12 月 8 日的测试过程中,系统数据采集成功率达 100%,数据传输成功率达 100%,林火识别正确率达 100%,测试效果良好,满足林区智能管护的需求。

3 结束语

针对我国森林管护与林火监测现状,采用铱星 SBD 通信业务,基于支持向量机算法,设计了一个专

门服务于林业部门的信息采集、数据分析及林火识别的森林管护系统,并进行了硬件设计与软件设计。在有效采集时间、地理位置及林区微环境参数(CO 浓度、CO₂ 浓度、烟雾浓度、空气温度、空气湿度)的基础上,采用 9 个输入向量、径向基核函数(RBF)、二次规划(LS)式超平面、惩罚参数为 40 的支持向量机算法,构建了林火识别模型,在距采集点 10 m 范围内,林火识别率达到 80% 左右。

在内蒙古自治区呼伦贝尔市海拉尔国家森林公园应用测试中数据采集成功率、数据传输成功率、林火识别正确率均达 100%，为林区管护智能化及森林防火奠定了可靠基础。

参 考 文 献

- 1 吴雪琼, 覃先林, 李程, 等. 我国林火监测体系现状分析[J]. 内蒙古林业调查设计, 2010, 33(3): 69-72.
Wu Xueqiong, Qin Xianlin, Li Cheng, et al. Analysis of current forest fire monitoring system in China[J]. Inner Mongolia Forestry Investigation and Design, 2010, 33(3): 69-72. (in Chinese)
- 2 肖化顺, 刘小永, 曾思齐. 欧美国家林火研究现状与展望[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(2): 131-136.
Xiao Huashun, Liu Xiaoyong, Zeng Siqi. Status and prospect of forest fire research in Europe and the United States[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(2): 131-136. (in Chinese)
- 3 Gao Xingxin, Xiang Zhe, Wang Hao, et al. An approach to security and privacy of RFID system for supply chain[C]// IEEE International Conference on E-commerce Technology for Dynamic E-Business, 2004: 164-168.
- 4 李泉林, 郭龙岩. 综述 RFID 技术及其应用领域[J]. 射频世界, 2006(1): 51-62.
Li Quanlin, Guo Longyan. An overview on RFID technology and application[J]. Radio Frequency Ubiquitous Journal, 2006(1): 51-62. (in Chinese)
- 5 吕捷. GPS 技术[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001: 1-127.
- 6 张小强, 杨放春. 一种基于 GPRS 技术的无线监控系统[J]. 中国数据通信, 2004(11): 92-95.
- 7 Bettstetter C, Vogel H J, Eberspacher J. GSM Phase 2+, general packet radio service GPRS: Architecture, protocols and air interface[J]. IEEE Communications Surveys, 1999, 2(3): 2-14.
- 8 刘念. 太空信息高速公路——铱星移动通信系统介绍[J]. 航天, 1998(3): 1.
- 9 张献生, 谭秋林, 丁利琼, 等. 基于铱星系统的信标机设计[J]. 计算机测量与控制, 2013, 21(10): 2804-2807.
Zhang Xiansheng, Tan Qiulin, Ding Liqiong, et al. Design of beacon on the Iridium satellite system[J]. Computer Measurement & Control, 2013, 21(10): 2804-2807. (in Chinese)
- 10 刘思杨. 卫星移动通信系统发展现状及趋势[J]. 现代电信科技, 2014(7): 23-28, 33.
- 11 Iridium Satellite LLC. Iridium satellite data services white paper[R]. USA: Iridium, 2003.
- 12 Iridium Satellite LLC. Iridium short burst data service developers guide, Release 2.0[M]. USA: Iridium Satellite LLC, 2007.
- 13 Cristianini N, Taylor J S. An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- 14 丁世飞, 齐丙娟, 谭红艳. 支持向量机理论与算法研究综述[J]. 电子科技大学学报, 2011, 40(1): 2-10.
Ding Shifei, Qi Bingjuan, Tan Hongyan. An overview on theory and algorithm of support vector machines[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2011, 40(1): 2-10. (in Chinese)
- 15 张学工. 关于统计学习理论与支持向量机[J]. 自动化学报, 2000, 26(1): 32-42.
Zhang Xuegong. Introduction to statistical learning theory and support vector machines[J]. Automation Journal, 2000, 26(1): 32-42. (in Chinese)
- 16 许建华, 张学工, 李衍达. 支持向量机的新发展[J]. 控制与决策, 2004, 19(5): 481-484, 495.
Xu Jianhua, Zhang Xuegong, Li Yanda. Advances in support vector machines[J]. Control and Decision, 2004, 19(5): 481-484, 495. (in Chinese)
- 17 张晓平. 基于支持向量机的多类算法研究及其在滚动轴承故障识别中的应用[D]. 太原: 太原理工大学, 2007.
Zhang Xiaoping. An algorithm research on multi-class classification application in fault identification of rolling bearing[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2007. (in Chinese)
- 18 俞国胜, 肖江, 袁湘月, 等. 发展中国林木生物质成型燃料[J]. 生物质化学工程, 2006, 40(增刊): 45-50.
Yu Guosheng, Xiao Jiang, Yuan Xiangyue, et al. Development of forest woody biomass briquette in China[J]. Biomass Chemical Engineering, 2006, 40(Supp.): 45-50. (in Chinese)
- 19 李美华, 俞国胜. 生物质燃料成型技术研究现状[J]. 木材加工机械, 2005(2): 36-40.
Li Meihua, Yu Guosheng. Current situation of research on biofuel shaping technology[J]. Wood Processing Machinery, 2005(2): 36-40. (in Chinese)
- 20 李丽娟. 最小二乘支持向量机建模及控制算法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.
Li Lijuan. The study of modeling algorithm based on LS-SVM and predictive control algorithm[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008. (in Chinese)
- 21 董瑶, 潘国峰, 夏克文, 等. 一种改进的 LS-SVM 算法及其应用[J]. 石油地球物理勘探, 2007, 42(6): 673-677.
Dong Yao, Pan Guofeng, Xia Kewen, et al. An improved LS-SVM algorithm and application[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2007, 42(6): 673-677. (in Chinese)