摘要：森林火灾是当前世界林业上最严重的灾害之一，每年造成的人员财产损失不计其数。设计了森林火灾区域监测系统，运用无人机搭载探测模块，能够在人为控制下对较大的森林区域进行巡视。系统可以在火灾发生时对其进行数据的采集，并通过无线传输到瞭望台内的上位机，以达到火灾预警的作用。本系统在现有的传统火灾检测手段的基础上进行改进，采用多种传感器同时检测，效果更加精准。探测结果在上位机通过警示灯和波形图显示，更加直观。

关键词：森林火灾；上位机；传感器
中图分类号：S762.3+2　　文献标识码：A　　文章编号：1006-883X(2020)01-0007-06
收稿日期：2019-12-04

森林火灾区域监测系统

周子肖 朱嘉林 程进 李光东 刘宝宇 王骏琦 常创创 姚宇军 程景华 孙瑞卿 冯平平 邹小平
北京信息科技大学北京市传感器重点实验室，北京 100101

一、引言

作为温室气体排放的重要来源，林火每年释放约2Pg~4Pg的碳至大气，超过化石燃料燃烧排放量的50%[1]。目前，现有的森林火灾检测手段有人工巡护、瞭望塔观测和卫星遥感等，各种手段都有各自的优势和不足。人工巡护可以深入森林内部，对难以观测的死角进行排查，并且机动性强，可有选择地挑选重点巡护路线，但是效率较低，视野较为狭窄，受地形地貌影响比较大；瞭望塔观测视野广阔，能借助望远镜等设备对大片面积的森林进行观察，但在树林茂密的区域存在视野盲区，机动性差，观测范围取决于瞭望台的位置；卫星遥感探测区域最为广阔，能够准确地定位，进行全天候观测，但是成本高，仅能在形成大片火灾面积时识别[2-3]。

森林火灾对社会经济的可持续发展、生态平衡、人民生命财产安全构成重大威胁，严重制约了植树造林和生态环境建设的进程[4]。现如今森林火灾频发，需要一种高效、高机动性且低成本的方案对森林进行监测。

本设计系统采用多种传感器对火源、烟雾以及温湿度变化进行检测，能够代替人的感知功能，与人工巡护和瞭望塔观测相结合，起到辅助的作用，减少严重的森林火灾的发生。

二、系统设计

1、系统的总体框架

本系统分为四个模块：移动模块、探测模块、无线传输模块和上位机模块。整个系统的结构框图如图1所示。

其中移动模块为一台四旋翼无人机，作为搭载火灾探测器的载体。无人飞行器的飞控是APM，APM基于一块AVR单片机，来完成飞行任务。APM飞控集成了磁罗盘、陀螺仪、加速度计和GPS。无人机尺寸约40cm，最大飞行高度在100m左右，携带有摄像头，分辨率为720P，电源为充电电池。配件有护架、脚架、风叶、摄像头、USB充电器、电池和遥控器。该无人机操作简单，由人为控制，含一键起降和急停等功能。

探测模块采用STM32单片机为主板，上面集成了火焰传感器、烟雾传感器、温湿度传感器，负责森林环境数据的采集。

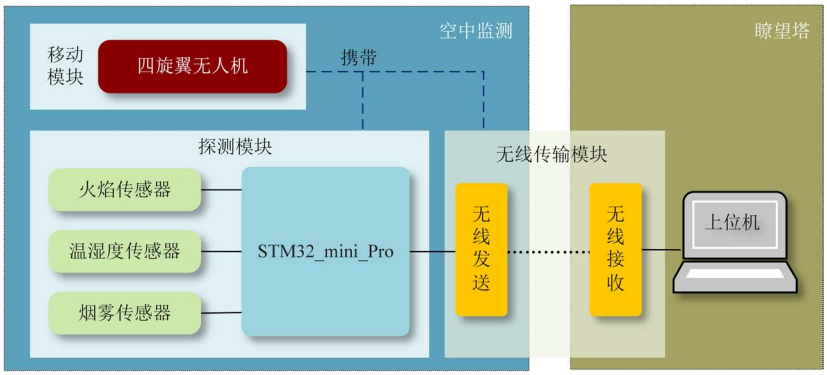

图 1 系统结构框图

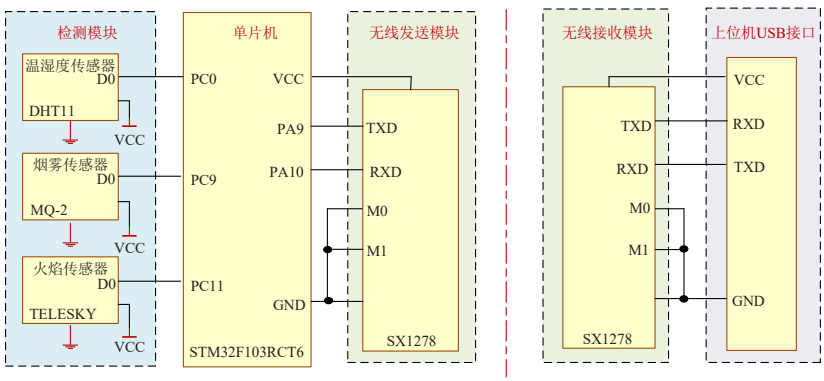

图 2 系统硬件设计

无线传输模块分为发送和接收两部分，分别接单片机和上位机，负责探测模块数据的发送与接收。

上位机模块，通过 LabView 软件对数据进行分析处理，得到相应的火焰和烟雾的信号以及温湿度的变化值。

2、系统硬件设计方案

系统硬件设计总电路示意图如图 2 所示。其中，空中监测部分由一台四旋翼无人机搭载探测模块和无线发送模块组成，安装示意图如图 3 所示。

（1）探测模块

探测模块所使用的三种传感器见表 1。

火灾发生的一个显著特征是产生火焰并向外发射特定波长范围的光线，因此采用火焰传感器来探测此特征 [5]。当有火源产生时，火焰传感器探测到 760nm~1100nm 的波长，随即工作，上面的火焰报警 LED 灯闪烁，输出口的输出由原来低电平变为高电平，由单片机接收此信号，串口输出数据由 0 变为 1 并通过无线模块传输到上位机。该信号每隔 3s 判断一次，传感器安装在探测模块的下方靠外位置，能够更好地接收火焰的信号并作出判断。

烟雾传感器可检测可燃气体和烟雾，当森林中的火源被茂密的树冠所遮挡时，火焰传感器的作用将降低，此时可以使用烟雾传感器进行检测。传感器的接触端设计为圆柱形，增加了与烟雾接触的面积，当有烟雾与传感器接触时，其材料的晶粒间界处的势垒收到调制而变化，会引起表面导电率的变化，从而改变输出电阻并最终影响模拟信号的输出。传感器工作后，烟雾报警 LED 灯闪烁，输出由原来的低电平转变为高电平，并将这一变化传输到单片机内，单片机的串口输出由 0 变为 1，并通过无线传输装置发送到上位机进行处理。烟雾传感器安装在探测模块的下方靠外位置，每隔 3s 进行一次判断，能与火焰传感器共同对森林的火灾进行检测。

当火焰和烟雾传感器均未能准确探测出火源时，

图 3 探测模块安装示意图

表 1 三种传感器的介绍

	分类	原理	工作情况	输出	上位机显示
1	火焰传感器 TELESKY	探测火焰波长	电平由低变高	由 0 变为 1	红灯警报
2	烟雾传感器 MQ-2	表面导电率变化	电平由低变高	由 0 变为 1	红灯警报
3	温湿度传感器 DHT11	热敏、湿敏电阻的阻值变化	电压值变化	温度和湿度值	波形图变化

可以通过温湿度传感器来进行判断。温湿度传感器含有已校准数字信号输出，能够对森林环境的变化进行实时的监测。该传感器能够感知周围环境的微小变化，并使其中的热敏电阻或湿敏电阻发生改变，把传感器输出的电压转换成数字值，通过温度和湿度的数字变化展示出来。当有火源发生，势必会使其周围的温度和湿度发生明显的变化，此时探测器经过，温度会有一个小幅度的上升，而湿度则会下降。这些变化的数值由传感器感知并传输到单片机内，单片机进行计算处理，将温度和湿度的值通过串口输出。接下来则由无线传输模块将数据传入上位机。该传感器安装于检测装置的下方靠外位置，数据每隔 3s 测量一次，采集的数据能够保存并比较。

（2）无线传输模块

无线传输模块选用 Semtech 原装的 SX1278 型号的射频芯片，分为两部分。第一部分作为信号的发出装置，前接单片机，单片机接收探测装置数据，处理后变为数字信号从串口输出并发出；另一部分接上位机，作为信号的接收装置，接收的信号通过 USB 接口送入上位机进行读取。上位机模块上装有 LabView 软件，在软件内搜索到接口后即可对得到的数据进行进一步的处理。

3、系统的软件设计

（1）探测模块程序

本系统的探测模块所用程序种类为 C 语言，该模块的软件流程图如图 4 所示。

当温湿度传感器正常工作时，温湿度子程序函数成功运行，将温度和湿度的整数部分和小数部分的电压变化数据从 DATA 引脚传入单片机，并由单片机将该数据转换为温度和湿度值。火焰传感器工作时，输出电位发生改变，将数据传入单片机，进行判断并得出状态。烟雾传感器工作原理同火焰传感器。最后输出的字符分别表示火焰、烟雾是否存在和湿度值及温度值，例如 00，32.0，28.0 表示无火焰、无烟雾、湿度为 32% RH 和温度为 28.0℃。这样设计是为了方便下一步在上位机进行数字的截取。

电源接通，该过程进行循环，每隔 3s 进行一次数据采集。

C 语言主程序如下：

```
int main(void)
{
THsensor_Data_TypeDef THsensor_Data;
SysTick_Init();// 配置 SysTick 为 1us 中断一次
USART_Config();// 初始化串口 1
KEY_Init(); // 按键初始化
THsensor_Init ();// 温湿度传感器初始化
while(1)
{
if( THsensor_Read ( & THsensor_Data ) == SUCCESS) // 调用 THsensor_Read 读取温湿度，若成功则输出该信息
{
if(KEY9==0) // 若 KEY9 对应串口为低电位
{
if(KEY11==0) // 若 KEY11 对应串口为低电位
{
printf("00,%d.%d,%d.%d\r\n",THsensor_Data.humi_int,THsensor_Data.humi_deci,THsensor_Data.temp_int,THsensor_Data.temp_deci);// 输出表示火焰和烟雾状态的 00，输出湿度和温度值
                    }
else
{
printf("01,%d.%d,%d.%d\r\n",THsensor_Data.humi_int,THsensor_Data.humi_deci,THsensor_Data.temp_int,THsensor_Data.temp_deci); // 输出表
```

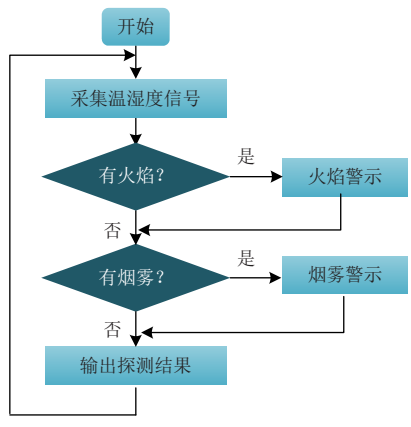

图 4 探测模块程序流程图

```
示火焰和烟雾状态的 01，输出湿度和温度值
}
}
else
{
if(KEY11==0)
{
printf("10,%d.%d,%d.%d\r\n",THsensor_Data.humi_int,THsensor_Data.humi_deci,THsensor_Data.temp_int,THsensor_Data.temp_deci);// 输出表示火焰和烟雾状态的 10， 输出湿度和温度值
}
                    else
{
printf("11,%d.%d,%d.%d\r\n",THsensor_Data.humi_int,THsensor_Data.humi_deci,THsensor_Data.temp_int,THsensor_Data.temp_deci);// 输出表示火焰和烟雾状态的 11， 输出湿度和温度值
}
}
}
else
{
if(KEY9==0)
{
if(KEY11==0)
{
printf("00,00.0,00.0\r\n");// 输出表示火焰和烟雾状态的 00，湿度和温度读取失败
}
else
{
printf("01,00.0,00.0\r\n");// 输出表示火焰和烟雾状态的 01，湿度和温度读取失败
}
}
else
{
if(KEY11==0)
{
printf("10,00.0,00.0\r\n");// 输出表示火焰和烟雾状态的 10，湿度和温度读取失败
}
else
{
printf("11,00.0,00.0\r\n");// 输出表示火焰和烟雾状态的 11，湿度和温度读取失败
}
}
}
        Delay_ms(3000);
}
}
```

（2）上位机程序

将探测模块所得到的数据在上位机进行处理，可以将火灾现场的情况实时的反映，更加直观和具体。这里我们用到了 Labview 软件，将上一步所得到的字符串进行切割，分别得到了火焰、烟雾以及湿度和温度的四组数据。如图 5 所示。

将此程序框图运行，得到一个显示数据的面板，如图 6 所示。这就是我们所需要的上位机界面，左边两个指示灯分别表示火焰和烟雾是否存在，报警时为

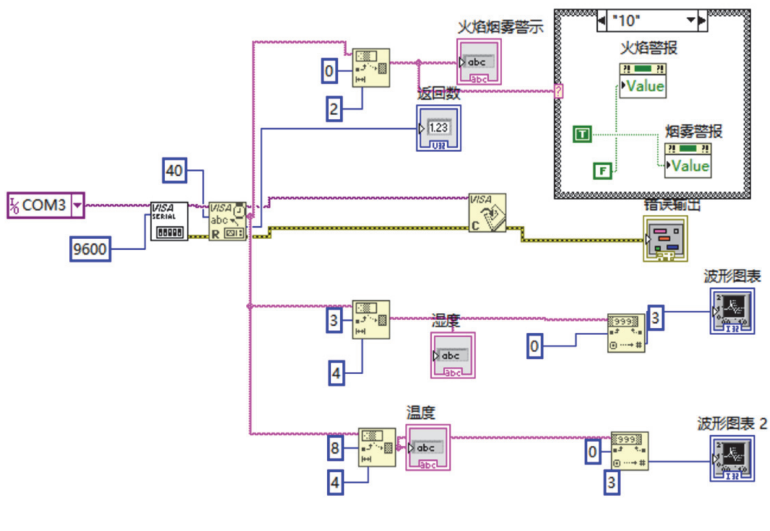

图 5 软件程序框图

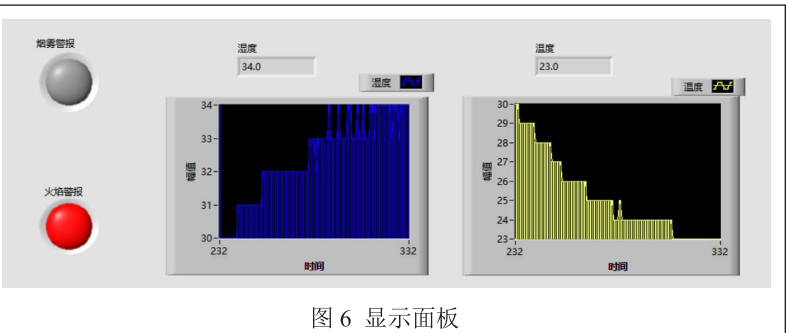

图 6 显示面板

红色，不工作时为灰色。右边两个波形图分别表示湿度（蓝色）和温度（黄色）随时间的变化。

三、系统功能的实现与验证

首先要保证各引脚的连接是否牢固，传感器带有螺丝栓，可以通过螺丝固定在探测装置上，无线装置要确保天线的位置能够准确的收发信号。另一部分无线装置通过 USB 接口与上位机进行连接，也要保证其牢固。无人机和探测模块通过螺丝和螺栓进行连接，保证带有传感器的一面朝下，便于数据的采集。设备连接好后接通电源，上位机可在软件的程序框图的 VISA 配置串口处进行搜索，找到连接的设备，连接成功后点击运行即可。

经过多次场景模拟及实验，最终得出火焰传感器的有效探测范围为 50cm 内的直径 1cm 左右的火焰。随着探测距离的增加，可探测的火焰直径也会增加。在火源出现后约 0.5s 内火焰传感器自带的警示灯亮起，约 1s 后上位机显示界面火焰警报红灯亮起，稍有延迟，这与本程序设置的延迟时间（3s）有关。当火源的烟雾升起时，距离火源约 50cm 的烟雾传感器在接触到火源产生的微弱烟雾后的 2s 内发生反应，上面自带的警示灯亮起，与火焰传感器同理，上位机显示界面的烟雾报警红灯亮起。温湿度传感器在环境发生变化时能够迅速将信号传输到上位机，能够从显示界面的波形图上看到实时的温湿度的变化，并且有窗口显示温度和湿度的数值变化，精确度约为 ±1℃左右。

图 7 装置实物图

因为本场景模拟采用的是微小火焰（约 1cm），所以探测距离有限，当装置应用于森林较大火源时，探测距离会有大幅度提升。该装置实物图如图 7 所示。

四、结束语

无线传感技术的加入提高了传统监测系统的效率，在森林火灾的检测和防护中起到了重要的作用。目前的趋势是将多种传感器合理的结合与运用，以达到高效和稳定的目的 [6]。研发该系统为了更好地监测森林的火灾，减轻护林员的负担，保障他们的人身安全，进而减少人员伤亡和财产损失。本系统将传感器技术、嵌入式以及物联网进行结合，用无人机代替人工巡护，探测装置代替人为观测，节省了人力物力。可与瞭望台进行配合，对森林进行区域性的监测。成本低，实用性强且需求量大。

目前，很多设计将图像识别技术的探测与无人机技术相结合，对森林火灾的监测起到了一定的作用 [7-8]。本系统仍然存在一些不足之处：所用的传感器功能和效果较为一般，无人机在森林上空巡视，对极小的火源的监测能力较为有限。另外，无人机和上位机的操作也对相关工作人员具有一定的能力上的要求，设备在森林中瞭望台的信号问题以及维护工作亦需要重视。

参考文献

[1] 胡海清 , 魏书精 , 孙龙 , 等 . 气候变化、火干扰与生态系统碳循环 [J]. 干旱区地理 , 2013, 36(01): 57-75.

[2] 陈义 . 遥感技术在环境监测中的应用 [J]. 资源节约与环保 , 2019, (10): 72.

[3] 李英科 , 李全民 . 基于卫星数据的森林火灾监测系统探讨 [J]. 森林防火 , 2019, (02): 25-29, 43.

[4] 孟青 , 韩雨龙 , 苏鑫 , 等 . 基于 ZigBee 的森林火灾监测系统的设计与实现 [J]. 自动化仪表 , 2017, 38(08): 5-8.

[5] 杨颂 , 张少伟 , 孙培壮 , 等 . 基于 4G 网络和多传感器的农业火灾报警系统 [J]. 物联网技术 , 2018, 8(09): 89-91.

[6] 刘足江 . 基于森林火灾监测系统中多传感器数据融合的研究 [D]. 昆明 : 昆明理工大学 , 2013.

[7] 曹蕾 . 基于图像识别技术的森林防火监测系统设计 [D]. 哈尔滨 : 哈尔滨理工大学 , 2019.
[8] 赵月 . 基于无人机的林火监测系统设计与实现 [D]. 济南 : 山东大学 , 2019.

Forest Fire Area Monitoring System

ZHOU Zi-xiao, ZHU Jia-lin, CHENG Jin, LI Guang-dong, LIU Bao-yu, WANG Jun-qi, CHANG Chuang-chuang, YAO Yu-jun, CHENG Jing-hua, SUN Rui-qing, FENG Ping-ping, ZOU Xiao-ping
(*Research Center for Sensor Technology, Beijing Information Science and Technology University, Beijing* 100101, *China*)

Abstract: Forest fire is one of the most serious disasters in the world, which causes countless losses of people and property every year. A forest fire area monitoring system is designed with a detection module carried on a UAV, which can patrol large forest areas under human control. The system can collect data in case of fire, and transmit them to the host computer in the observation platform through wireless transmission, so as to achieve the function of early fire warning. Improved on the basis of the existing traditional fire detection methods, the system adopts a variety of sensors to detect at the same time, so as to get a better effect. The detection results are displayed in the upper computer with warning lights and wave charts, which are more intuitive.

Key words: forest fire; host computer; sensor

作者简介

周子肖：北京信息科技大学，硕士研究生，研究方向为物联网。
通信地址：北京北四环 35 号教 2 楼 117 实验室
邮编：100101
邮箱：zzxfpp111@163.com
朱嘉林：北京信息科技大学教授，主要从事信号处理与功能材料方面的研究。
程进：北京信息科技大学，北京市传感器重点实验室，副研究员，主要从事光纤声学传感器方面的研究。
李光东：北京信息科技大学，硕士研究生，研究方向为物联网技术。
刘宝宇：北京信息科技大学，硕士研究生，研究方向为物联网技术。
王骏琦：北京信息科技大学，硕士研究生，研究方向为物联网技术。
常创创：北京信息科技大学，硕士研究生，研究方向为物联网技术。
姚宇军：北京信息科技大学，硕士研究生，研究方向为物联网技术。
程景华：北京信息科技大学，硕士研究生，研究方向为物联网技术。
孙瑞卿：北京信息科技大学，硕士研究生，研究方向为物联网技术。
冯平平：北京信息科技大学，硕士研究生，研究方向为物联网技术。
邹小平：北京信息科技大学硕士生导师，研究员，主要从事物联网方面的研究。