

文章编号: 1672-8785(2017)02-0032-07

基于碲镉汞单元探测器的扫描式 森林火灾预警系统设计

方 刚¹ 叶柏松¹ 杜玉改²

(1. 常州光电技术研究所, 江苏常州 213164;

2. 常州轻工职业技术学院, 江苏常州 213164)

摘 要: 针对当前森林火灾实时预警困难的问题, 分析了碲镉汞 (Mercury Cadmium Telluride, MCT) 单元红外探测器用于森林防火领域的可行性。利用 MCT 红外探测器灵敏度高、功耗小、成本低特性, 设计了一种基于 MCT 单元探测器的全方位扫描式森林防火预警系统。该系统由太阳能和风能提供电源, 并由红外探测器实现对森林火灾中红外辐射信号的采集、放大、处理和成图; 通过 RS485 总线和 GPRS 方式实时向上位机监测中心发送数据信息。当出现火情时, 该系统能够及时向森林消防人员发送预警信息, 因此可起到及时将火灾消灭在萌芽阶段的作用。本文系统可在不同的地理环境及气候条件下提供全天候、稳定可靠的森林火灾预警服务。

关键词: 火灾预警; 碲镉汞; 红外; 扫描

中图分类号: TP732.2 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2017.02.006

Design of Scanning System Based on MCT Detector for Forest Fire-warning

FANG Gang¹, YE Bai-song¹, DU Yu-gai²

(1. Changzhou Institute of Optoelectronic Technology, Changzhou 213164, China;

2. Changzhou Vocational Institute of Light Industry, Changzhou 213164, China)

Abstract: To solve the problem that it is difficult to give early fire-warning for forest, the feasibility of using a single element mercury cadmium telluride (MCT) infrared detector in the field of forest fire prevention is analyzed. By utilizing the characteristics of high sensitivity, low power consumption and low cost of single element MCT infrared detectors, an omnidirectional scanning forest fire early warning system based on a single element MCT detector is designed. The system is powered by solar energy and wind energy. Its infrared detector is used to implement the collection, amplification, processing and imaging of the mid-infrared radiation signals of forest fire. The collected signals are sent to the computer monitoring center through RS485 and GPRS. When a fire occurs, the system can send the fire early warning information to firefighters stably in time under various geographic and climate conditions.

Key words: fire-warning; mercury cadmium telluride (MCT); infrared; scanning

收稿日期: 2016-12-09

基金项目: 常州市科技支撑计划 (工业) 项目 (CE20140023)

作者简介: 方刚 (1980-), 男, 河南确山人, 硕士, 工程师, 主要从事红外光电应用和超低温制冷技术研究。

E-mail: fanggangdyg@163.com

0 引言

森林火灾是一种对生态环境具有严重影响的自然灾害, 其突发性强、破坏性大且扑救困难, 因而位于森林灾害之首^[1]。传统的森林防火措施主要包括人工瞭望、地面巡护、空中巡航以及卫星测报等。它们容易受光线、大雾等环境因素的影响, 导致漏报率和成本较高。目前, 如何提升森林防火的现代化水平, 使其能及时发现火情并将森林火灾的损失减至最小是现代林业亟需解决的问题。

森林火灾的火焰温度一般远在 600 ℃ 以上, 且在 3 ~ 5 μm 波段具有较强的红外辐射^[2]。随着中红外探测技术的日益成熟, 红外探测器和红外焦平面阵列在森林火灾预警领域的应用已经成为了人们的研究热点。由于价格高昂、结构复杂, 红外焦平面阵列距普及应用还有相当长的路要走。而基于 MCT 单元探测器的扫描式森林火灾预警系统则具有结构简单、稳定可靠、成本低等优点。它集红外光学、信号图像处理、无线通信、先进机械于一体, 是现代森林防护系统的有效解决方案。

1 总体结构及原理

如图 1 所示, 本文系统主要由供电电源、光机结构、信号采集与处理组件以及上位机监控中心等四部分构成。其中, 电源采用太阳能和风能的方式, 保证全天候 24 h 供电; 光机结构包括红外光学组件和机械扫描组件, 用于对森林火灾产生的红外辐射进行扫描并将其聚焦到红外

探测器上; 信号采集与处理组件包括信号前置放大模块、探测器温度控制模块和信号处理控制模块, 用于实现对各种电机的控制, 对探测器光敏器件温度的控制, 红外信号的低噪声放大、滤波、A/D 采样以及图像数据的处理与上传; 上位机监控中心用于对采集到的图像数据进行后期处理, 并以图像的方式将其显示在监控器上, 同时还对火灾的着火点进行判断和报警。

2 硬件设计

2.1 光机结构设计

本文系统的光机结构包括转镜组件和扫描组件两部分。其中, 扫描组件由两部电机分别驱动转镜进行纵向和横向扫描, 如图 2 所示。森林背景和着火点产生的红外辐射经转镜反射后, 穿过透红外的蓝宝石窗口, 再经凹面镜聚焦到红外器件的光敏面上。整个光机结构在设计时需要满足光学和电子学的要求, 同时还必须具备较好的稳定性和防水防尘性。

2.2 供电模块设计

由于设备安装在森林高压线塔架上, 没有可供直接使用的电源, 所以太阳能和风能供电是较为理想的选择^[3]。系统电源采用太阳能和风能相结合的供电方式, 不受阴雨天气的影响, 可以达到全天候 24 h 为系统供电的目的。如图 3 所示, 电源结构主要包括太阳能电池板、风力发电机、大容量蓄电池、充放电控制器以及各种电源转换模块。

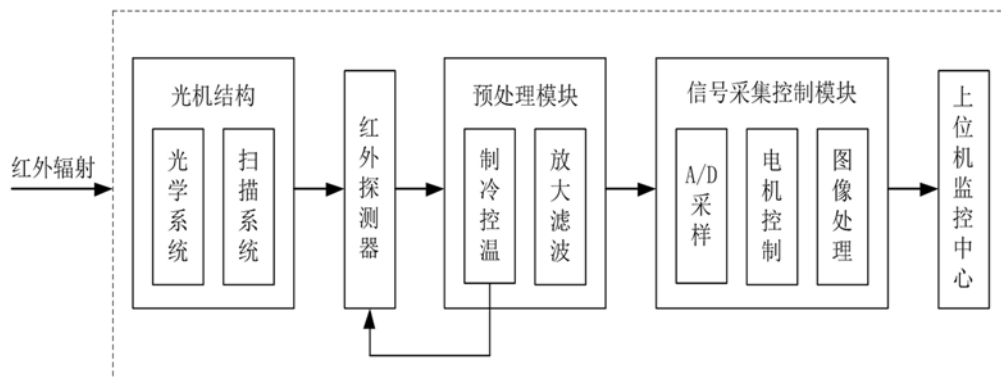


图 1 本文系统的原理框图

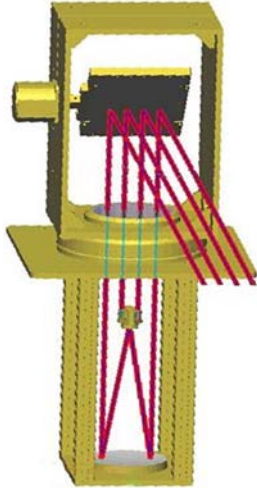


图2 光机结构的原理图

2.3 信号预处理模块设计

本文采用基于二级半导体制冷的光导型MCT器件作为红外敏感元件。该器件具有灵敏度高、响应快、稳定性强等优点^[4]。如图4所示，信号预处理模块由恒流源电路、低噪声放大电路、滤波电路、温度采集电路和制冷控温电路组成。对于MCT器件来说，偏置电流越大，信号越大，但是发热和噪声也越大。经过多次试验分析，将该器件的偏置电流设为1.5 mA。此外，通过用半导体制冷器给MCT器件降温，可以有效提高器件响应率。综合考虑制冷器在不同环境中的制冷能力，本文将温度控制在0℃。在系统装配时，信号输入输出端子均采用SMA射频

接头，并设有屏蔽盒。这样可以有效减少环境中的电磁辐射对系统探测信号的影响。

2.4 信号采集与控制模块设计

信号采集与控制模块包括控制器、执行机构、通信模块、信号变换、滤波电路以及开关量采集等，如图5所示。其中，控制器采用TMS320F2806X系列DSP信号处理器^[5]，其功能强大、功耗低、外围资源丰富，用于对各种电机的驱动与控制、采集数据的快速处理和图像处理算法的实现。

控制器通过编码器和限位开关控制转镜电机的开启和确定转镜位置以及有效视场的起止，用于实现系统的纵向扫描，使其经处理后成为图像纵轴的像素点。同时，控制器通过控制步进电机的转动来实现系统的横向扫描。步进电机每横向转动一步，转镜就纵向扫描一次。为了区分背景信号和着火点信号，本文安装了一块3~5 μm滤光片，并通过电机控制开启和关闭。此外，为了消除雨水和灰尘的影响，系统配有雨刷器结构。该模块的工作过程是，步进电机在零点位置上开始工作，当转镜进入有效视场后，控制器开始接收模拟信号并在内部进行A/D采样，然后利用直方图均衡和中值滤波算法对信号进行处理，以滤除干扰噪声；通过RS-485总

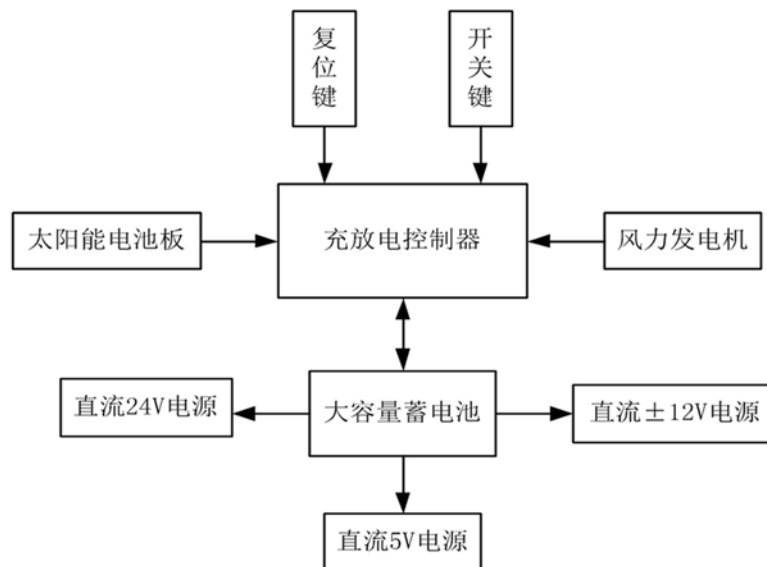


图3 供电电源的结构示意图

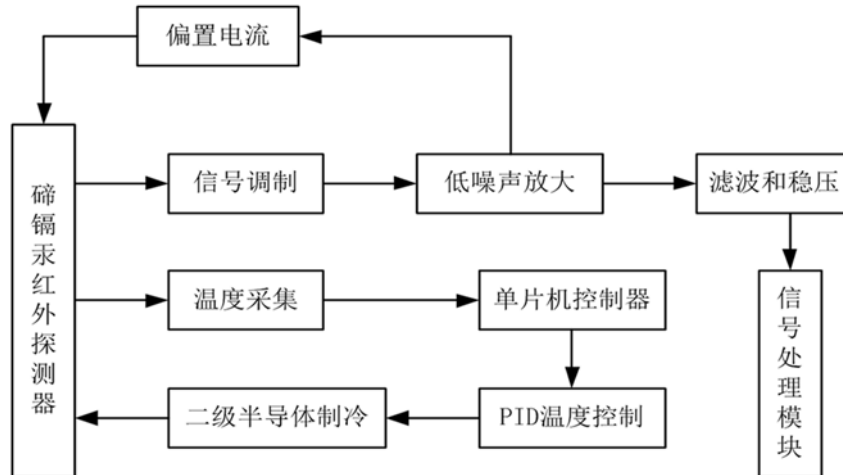


图 4 信号预处理模块的功能图

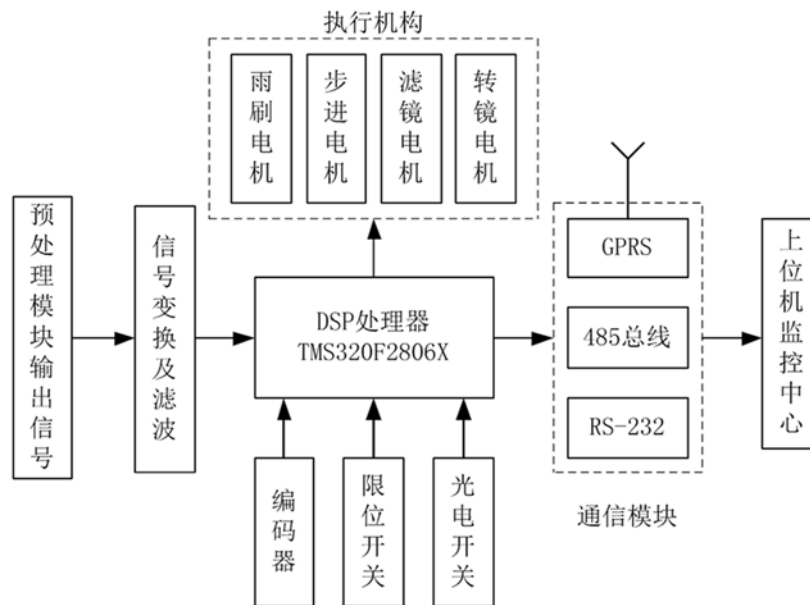


图 5 信号采集与控制模块的功能图

线和 GPRS 两种方式将数据发送至上位机监控中心；系统每完成一次纵向扫描，步进电机就横向转动一步；随后开始下一次的纵向扫描，直至完成全方位 360° 扫描，步进电机回到原点位置。

3 软件设计

3.1 下位机软件设计

红外扫描成像系统软件主要采用 C 语言和汇编语言编写程序，用于实现 DSP 控制器对各种电机、光电开关、编码器信号的接收和控制。另外，该软件还可实现对红外目标信号的 A/D 采样，并可利用中值滤波、数字滤波及小波算法

对数据进行处理，最后通过 485 总线和 GPRS 方式把图像数据发送至上位机。图 6 所示为整个软件流程。首先，对光电开关、限位开关、电机参数等系统硬件进行初始化设置。然后对步进电机是否处于原点位置进行判断。若不是，则自动转动到原点；反之，则开始扫描。当转镜进入有效视场时，开始进行信号采集、A/D 采样和数据处理，并向上位机发送数据，直至转镜离开有效视场为止。随后步进电机转动一步，系统再次进行纵向扫描，并重复以上流程，直至步进电机转动 360°，完成 400 步纵向扫描。最后，步进电机

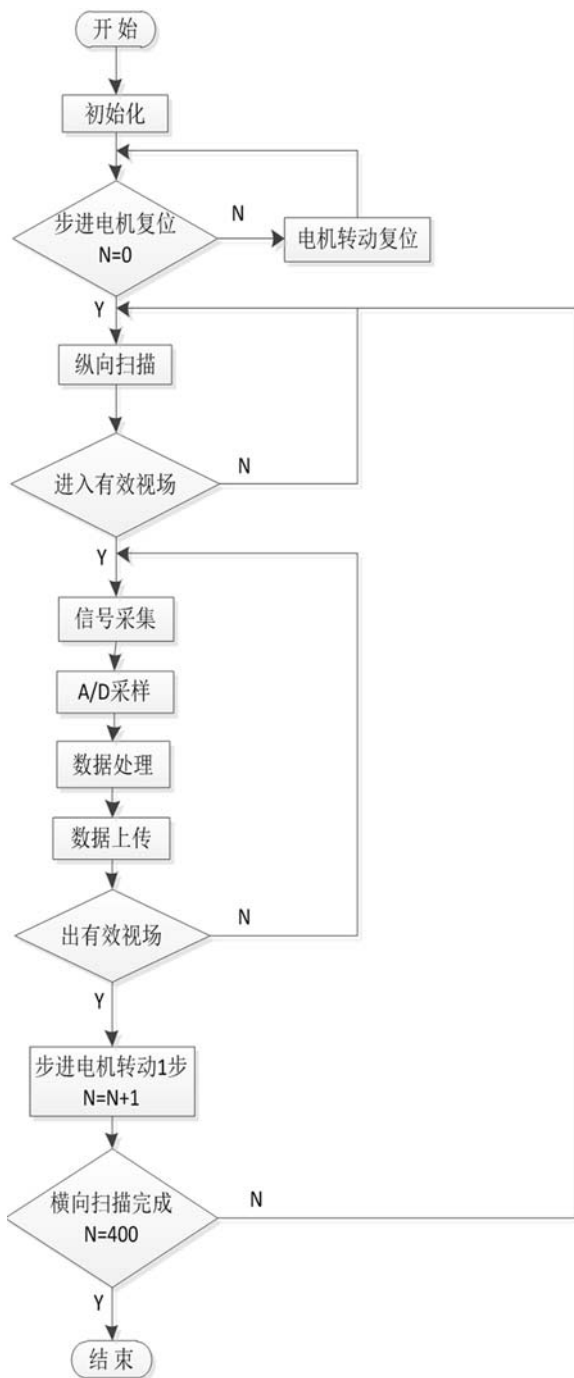


图6 红外扫描成像系统的流程图

回到原点，开始下一轮扫描。

3.2 上位机软件设计

上位机采用 Visual Basic 6.0 软件进行编程^[6]，主要用于实现以下几种功能。

3.2.1 图像处理

根据接收信号的灰度值进行有序排列，形成 720×720 大小的图像。该图像可根据需要对亮

度和饱和度进行调整，同时还可以进行放大或缩小。

3.2.2 阈值设置

为了提高系统的灵敏度和减小误报率，需要设置多个阈值。一是根据试验事先设置的着火点温度的阈值，当灰度值连续多次高于该阈值时便认为疑似着火点；二是需要对图像中相同位置异常点的个数进行阈值设置；三是对不可能出现火灾的区域进行设置，以避免出现由太阳光造成的误报现象。

3.2.3 实时预警

系统在自然光的条件下进行扫描，并根据信号灰度值形成背景图像。然后进入预警状态，滤光片关闭。当信号同时满足多种阈值时，说明有火灾发生。此时记录下位置并在背景图像上做好标识。

3.2.4 自动报警

当森林出现火灾或者发生其他异常时，监控界面指示灯呈红色，开始闪烁并报警；同时将报警信息发送给森林消防人员。该功能只有在操作人员确认并采用人工方式复位后才能消除。

3.2.5 历史查询

该系统每隔一段时间进行一次背景扫描成像，及时更新森林中周围景物的变化。每次更新都被存储，在有需要时可以调取历史数据和图像记录进行查询。

4 实验与分析

4.1 信号测试

在测试实验中，为了直观地反映由背景和火焰产生的红外信号，我们将设备放到靠窗的实验台上，并在室内离设备 5 m 处放一根点燃的蜡烛；通过纵向扫描可以得到室内外背景和火焰的信号；利用示波器对信号预处理模块的输出信号进行测试（结果见图 7）。实验结果表明，红外探测器能够分辨出由环境背景和火焰产生的红外辐射；经低噪声放大和滤波后，信号稳定可靠，有效信号带宽可达 100 K 以上，噪声不超过 100 mV，信噪比可达 30 dB 以上。



图 7 信号测试的波形图

4.2 室内模拟测试

为了检测红外预警系统的分辨能力,我们在室内进行模拟测试,同样将设备放到靠窗的实验台上。通过窗口可以扫描室外背景和室内日光灯。图 8 为上位机监控系统中生成的图像。本文系统能够透过窗户分辨出窗外背景,并可清晰成图,同时还能够分辨出室内的日光灯。但是由于背景温度较低,红外辐射微弱,所以图像亮度不够。

4.3 室外测试

为了模拟该系统的实际应用环境,将设备移到室外的开阔地带,其周围有建筑、汽车、树木和路灯等景物。将设备放在液压叉车上,并采用大容量蓄电池为系统供电,如图 9 所示。通过液压装置调整高度,在离设备 50 m 处放一根燃烧的蜡烛以模拟森林火灾。系统开机后,先对背景进行扫描。扫描完成后,生成并保存图像。接

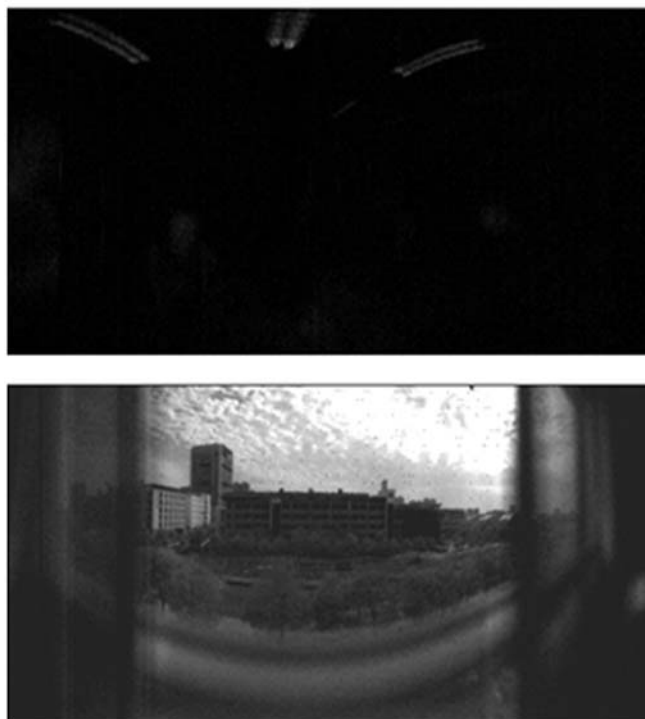


图 8 室内模拟测试获得的图像



图 9 系统外形图和室外测试照片

着进入预警状态, 滤光片关闭, 系统再次扫描, 在上位机电脑内生成图像 (见图 10)。其中圈中的亮点为蜡烛火焰。从生成的图像来看, 基本能够分辨出环境背景。由于系统设备没有固定, 震动较大, 因此图像稍微有些变形扭曲。根据蜡烛火焰的大小和成像距离, 可以推算出该系统能够分辨出 10 km 以外的 1 m^2 大小的火源信号。

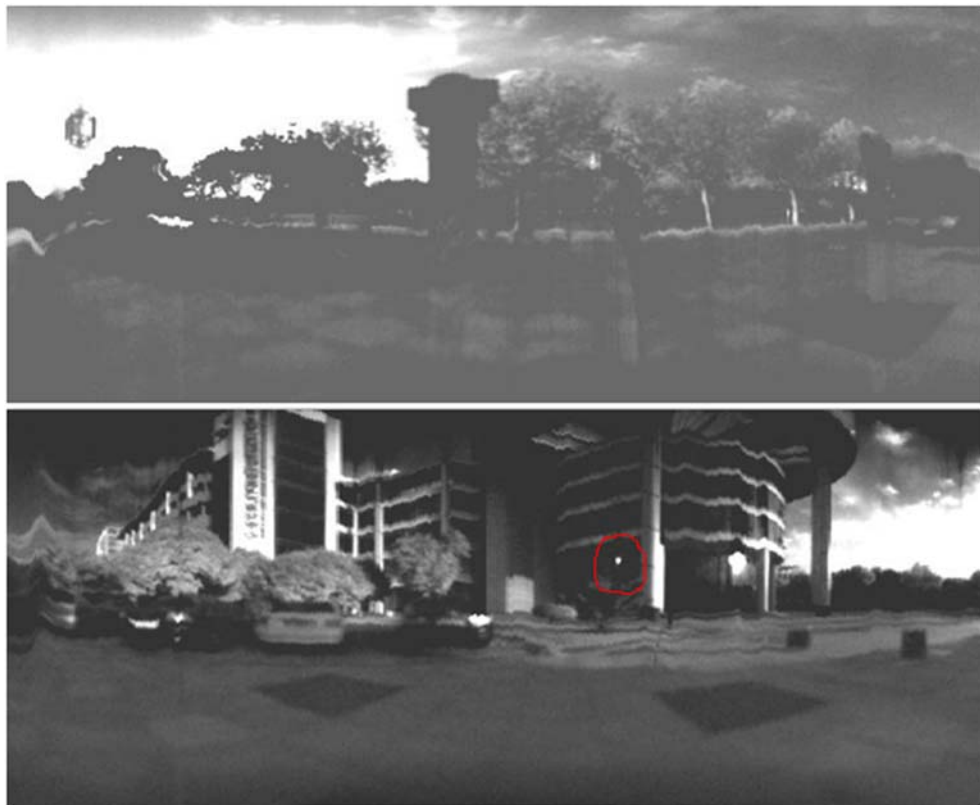


图 10 室外测试图像

5 结束语

实验结果表明, 本文设计的基于 MCT 红外单元探测器的扫描式森林火灾预警系统具有观测 5 km 以外约 1 m^2 大小的火源的能力。在发现和观察初期火灾方面, 该系统比肉眼观测有着明显优势。由于设备成本较低, 本文系统在一定程度上解决了传统森林火灾预警系统受气候、光线和人为等因素制约的问题, 因此在全天候森林火灾预警领域具有广阔的应用前景。

参考文献

[1] 李兴伟, 周宇飞, 李小川, 等. 红外林火视频监测系统的设计与应用 [J]. 森林防火, 2015, 3(1): 41-44.

[2] Wang D X, Xiong X Y. Forest Fire Exploration Approach with Passive Infrared Radar [C]. Qingdao: 3rd International Conference on Impulsive Dynamic Systems and Applications, 2006.

[3] 甄学宁, 李小川. 森林消防理论与技术 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2010.

[4] 汤定元, 糜正瑜. 光电器件概论 [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1989.

[5] Texas Instruments. TMS320F2806x Series DSP Data Manual [DB/OL]. <http://focus.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/tms320f2806.pdf>, 2007.

[6] 求是科技. Visual Basic 6.0 数据库开发技术与工程实践 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004.